



TITLE:

ボトムアップモデルによる地球温暖化対策の効果分析に関する研究(Dissertation\_全文)

AUTHOR(S):

島田, 幸司

---

CITATION:

島田, 幸司. ボトムアップモデルによる地球温暖化対策の効果分析に関する研究. 京都大学, 2003, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2003-03-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k10191>

RIGHT:

**ボトムアップモデルによる地球温暖化対策の効果分析に関する研究**

**平成 15 年 1 月**

**島田 幸司**

# ボトムアップモデルによる地球温暖化対策の効果分析に関する研究

平成 15 年 1 月

島田 幸司



# 目次

序論 本研究の目的と概要	1
序.1 本研究の背景	1
序.2 本研究の目的	4
序.3 本研究の概要	6
第1章 地球温暖化対策効果推計モデルの開発状況のレビューと分析	10
1.1 二酸化炭素排出量推計モデルの概説	10
1.2 エネルギーエンドユースモデルの開発・利用の状況分析	14
1.3 今後必要となるエネルギーエンドユースモデル研究の方向	23
1.4 まとめ	25
第2章 エンドユースモデルを用いたわが国の地球温暖化対策別の効果推計	32
2.1 近未来におけるわが国の二酸化炭素排出量推計	32
2.2 わが国でのモデルを活用した地球温暖化対策に係る合意形成	43
2.3 マクロ指標および個別対策技術等による排出量変化の分析	51
2.4 考察と政策的含意	55
2.5 まとめ	57
第3章 地球温暖化対策の副次的便益の概念と推計方法	59
3.1 地球温暖化対策の副次的便益の概論	59
3.2 副次的効果・便益の推計方法	63
3.3 既往の副次的便益推計研究と政策形成への影響	66
3.4 副次的便益の推計方法を巡る主な論点	72
3.5 まとめ	75
第4章 地球温暖化対策の副次的効果推計モデルの開発とわが国への適用	80
4.1 地域積み上げ型モデルを開発する背景・意義	80
4.2 推計モデルの構成	81
4.3 推計モデルの詳細	82
4.4 推計モデルを適用した地域の背景・特徴と適用の詳細	84
4.5 推定結果と副次的効果等の分析	91
4.6 地球温暖化対策の副次的効果推計を踏まえた政策展開	102
4.7 まとめ	105
第5章 地球温暖化対策の副次的効果・便益分析の政策形成への活用	108
5.1 わが国の大気汚染対策の歴史と近年の大気環境問題の特徴	108
5.2 今後の大気汚染対策と地球温暖化対策の関連	113
5.3 政策統合に向けた課題と方向性	117
5.4 まとめ	122
結論	126
附録Ⅰ AIM エンドユースモデルの部門別のモデルとエネルギーサービス技術	
附録Ⅱ ALICE 推計における対策レベルの設定	



## 序論 本研究の目的と概要

### 序.1 本研究の背景

#### 序.1.1 気候変動問題を巡る国際的な動き

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第三次評価報告書<sup>1)</sup>によれば、21世紀末までに1990年と比べ、地球の平均気温が最大5.8℃上昇し、平均海面水位が最大88cm上昇すると予測されており、地球温暖化問題は、人類・生態系の持続性維持に対する最大の脅威のひとつとなっている。

地球温暖化の影響を緩和するための対策（地球温暖化対策）については、米国ブッシュ政権が京都議定書への不支持を表明するなか、第6回締約国会合再開会合(COP6-bis, 2001年7月, ボン), 第7回締約国会合(2001年11月, マラケシュ)において、吸収源の見込み方、排出量取引上の制限等議定書実施のための基本的事項や運用ルールがほぼ合意された。2002年9月現在でわが国を含む93ヶ国および欧州共同体が京都議定書を締結済みであり、ロシア、カナダが締結すれば発効の要件を満たすことになる。気候変動枠組条約が採択された1992年から10年を経て、ようやく締約国による具体的な地球温暖化対策が本格化しようとしている。

一方、2002年10月に開かれた第8回締約国会合における最大の焦点は、京都議定書への開発途上国（途上国）の参加の道筋を模索することであったが、途上国側は従来からの主張であった途上国の貧困問題の解決が先決との基本姿勢をさらに硬化させた。また、京都議定書の不支持を貫く米国は、途上国の参加を促進させたいとする欧州や日本よりむしろ途上国寄りの姿勢もみせるなど、全世界での京都議定書の実施までには相当の期間を要する状況にある。

開発途上国、さらには米国、豪州までもが京都議定書への参加に拒否反応を示している主な原因のひとつは、地球温暖化対策の実施に要する費用やその実施による自国の経済へ与える悪影響への懸念にある。地球温暖化対策を全世界で本格化させるためには、このような懸念を払拭しなければならず、そのためには、対策を実施することにより、従前から認識されている「エネルギー経費節約上のメリット」を超えた便益が発生する可能性を、関係主体や政策決定者に示していく必要がある。

#### 序.1.2 わが国の地球温暖化対策の動向

わが国の地球温暖化対策に関する近年の動向を概観すると、地球温暖化対策の推進に関する法律（1998 年制定、2002 年改正）、地球温暖化対策推進大綱（1998 年策定、2002 年改訂）のほか、省エネルギーや新エネルギーに関連する個別法の制定・改正、自動車税制のグリーン化などが進められたが、2000 年度の温室効果ガスの総排出量は、1990 年と比較して 8%増加している<sup>2)</sup>。とくに、国民生活に密着した民生部門、交通部門の排出総量がそれぞれ 1990 年から約 2 割増加しており、国民一人ひとりの生活（すなわちエンドユース）を見直していく必要性が指摘されている。

以下に、地球温暖化対策推進大綱を中心とした国内の地球温暖化対策の動向を述べる。

#### 序.1.2.1 わが国の地球温暖化対策の経緯

わが国の温室効果ガス削減対策の経緯を顧みると、1990 年に「地球温暖化防止行動計画」を策定し、二酸化炭素の 1 人あたりの排出量と総排出量を、それぞれ 2000 年以降概ね 1990 年レベルで安定化することなどを目標としていた。しかし、わが国の 2000 年度における温室効果ガス排出量は基準年比で 8%増加（産業部門：+0.9%、交通部門：+20.6%、民生部門：+21.3%）しており、同計画の上記目標は達成することができなかった。また、京都議定書採択直後の 1998 年に政府が作った旧地球温暖化対策推進大綱については、温室効果ガス削減についての実効性をもつことはできなかったため、内容を見直すこととなった。

#### 序.1.2.2 新しい地球温暖化対策推進大綱

2002 年 2 月 4 日の総理大臣施政方針演説においては、当該国会における議定書締結の承認と、それに必要な国内法の整備を目指すことが言及され、地球温暖化対策に総力を挙げて取り組む決意が示された。それを受けて、同年 2 月 13 日に開催された地球温暖化対策推進本部において、地球温暖化対策推進大綱を見直す方針が決定され、同年 3 月 19 日に新しい地球温暖化対策推進大綱<sup>3)</sup>（以下、「新大綱」という。）が取りまとめられた。

新大綱は、京都議定書の約束を履行するための具体的裏付けのある対策の全体像を明らかにしたものであり、旧大綱に加わった広範な追加的対策・施策を含め、100 種類を超える個々の対策・施策のパッケージを取りまとめたものである。

本研究との関わりからみた新大綱の特徴を以下に述べる。

##### 1) 環境と経済の両立

わが国の非常に厳しい経済情勢のもとでの京都議定書の締結を巡っては、産業界や立法府の一部からは強い反対意見が表明されていた。このような状況下での議定書締結の担保措置となる新大綱の策定においては、地球温暖化対策への取組が、経済活性化や雇用創出などにもつながるよう、技術革新や経済界の創意工夫を活かし、環境と経済の両立に資するような仕組みの整備・構築を図ることが重要な要素となった。

序.1.1 に述べた京都議定書参加への国際的な懸念が、わが国においても同様に生じた訳であるが、燃料電池や太陽光発電といった地球温暖化対策技術の開発分野で世界の先陣を切ることがわが国の経済を再活性化することにもつながること、当面の国内産業界の取組はそれぞれの創意工夫による自主計画に基づくことなどを前提に議定書締結に踏み切ることになった。

地球温暖化対策の実施が経済に与える悪影響に対する懸念は、引き続きいろいろな場面で現れてくることが予想され、対策を継続・強化していくためには、その社会・経済的な便益を政策決定者や利害関係者が納得できる形で提示することが不可欠となる。

## 2) ステップ・バイ・ステップのアプローチ

新大綱では、2002 年から第 1 約束期間が終了する 2012 年までの間を、2002 年から 2004 年までの「第 1 ステップ」、2005 年から 2007 年までの「第 2 ステップ」、2008 年から 2012 年まで（第 1 約束期間）の「第 3 ステップ」の 3 ステップに区分し、第 2 ステップと第 3 ステップの前（2004 年、2007 年）に対策の進捗状況、排出状況について評価を行い、段階的に必要な追加的対策を講じていくこととなっている。

ここで重要なのは、施策の実施状況を点検しその効果を的確に検証・評価したうえで、次のステップの政策形成につなげていくプロセスであるが、これまでの地球温暖化対策の形成にあたって、具体的な対策や技術に着目した評価を定量的に行った例はほとんどなく、このような政策評価ツールの開発が急務である。

## 3) 民生・交通部門における国民が一体となった取組の推進

地球温暖化対策の本格実施には、国、地方公共団体、事業者、国民といった全ての主体がそれぞれの役割に応じて、総力を挙げて取り組むことが不可欠であることから、新大綱では、引き続き事業者の自主的取組の促進を図るとともに、とくに温室効果ガス排出量の伸びが著しい民生・交通部門の対策を強力に進めていくこととしている。

民生・交通部門の対策は、家庭におけるエネルギー利用の心がけや自動車の使い方などの面でのきめ細かな対策の積み重ねが重要であり、現在、政府では国民全体の暮らし方を見直す運動を展開している。そのような国民ひとりひとりのエネルギー使用にまで踏み込んだ対策を進め点検・評価していくためには、エネルギー使用機器やその利用の実態・特徴を把握し、この



部門での各種対策の効果をエネルギー使用（エネルギーエンドユース）の種類ごとに積み上げていく必要がある。

また、国民にとって必ずしも身近なものとして捉えられていない地球温暖化の問題に対して積極的な姿勢を引き出すためには、地球温暖化対策のもつ身近な問題への波及効果を訴えていくことも重要なアプローチであると考ええる。

## 序.2 本研究の目的

本研究は、序.1 に記した国内外の背景を踏まえ、対策メニュー別の効果分析や国民に身近な問題への波及効果分析といった政策形成側のニーズに応えられるような積み上げ型温室効果ガス排出量推計モデル（エネルギーエンドユースモデル）を開発・改良し、これをわが国に適用したものであり、大きく分けて2つの目的をもっている。

### 序.2.1 地球温暖化対策の種類ごとの効果分析を通じた重点対策の推進

わが国は、序.1.2 に述べた新大綱に基づいて、京都議定書で課せられた、2008～2012 年に基準年比で-6%という排出削減目標の達成を目指すことになった。京都議定書の採択の地であるわが国が、先進国のなかで率先して効果的取組を進め途上国に対しても範を示すためには、排出量増減の要因を的確に把握し、削減効果の高い対策技術等の抽出し、それらを重点的に実施促進することが不可欠である。

しかしながら、この目標をいかに全体として合理的かつ効率的に達成するか、すなわち、新大綱には 100 種類以上の対策・施策が盛り込まれているが、これらが費用効果等の観点から全体として最適な対策パッケージとなっているかどうかという観点からの検証・研究はこれまでほとんど行われていない。

これまで多岐多数に及ぶ地球温暖化対策のメニューがいかなる効果を有し、それらをどのように組み合わせれば、もっとも費用効果が高まるのかという視点での検討・研究が行われてこなかったことには、次のような背景・理由があると考ええる。

- 1) 地球温暖化防止行動計画や地球温暖化対策推進大綱は、業所管大臣ごとの責任において業種ごとにメニュー化され、それらを取りまとめた全体計画が編集されるというスタイルを取ってきており、わが国全体の温室効果ガス排出構造の観点からみた施策の合理性は問われないままであったこと。

- 2) わが国においてこれまで政策評価という手続が定着しておらず、行政側に個々の政策を定量的に評価するニーズが高くなかったこと。
- 3) 対策効果の推計手法としては、マクロ経済モデルを用いたエネルギー需要のマクロ予測と炭素税の導入による需要抑制効果の推計が主流であり、個々の機器・技術の効率化というレベルまで詳細にシミュレートできるモデルの開発は進んでいなかったこと。

そこで本研究では、まず、地球温暖化対策の効果推計に必須となる温室効果ガス排出量推計モデルの世界的な開発動向をレビューし、その現状と限界、今後の方向性などを把握・評価する。そして、このレビューを踏まえ、わが国の近未来の二酸化炭素排出量をエネルギーシステム全体の需給バランスがとれ地球温暖化対策が合理的に導入されるような積み上げ型モデルを用いて推計するなかで、導入された対策の温室効果ガス排出削減効果を個々のエネルギー機器・技術のレベルで定量的に把握することを第一の目的とする。

このことにより、一定の強度（限界削減費用）までの対策を導入する過程で排出削減効果の高い機器・技術が抽出でき、このような機器・技術の開発・普及に対する動機付けを与えることなど現実の政策形成にあたっての活用が期待できる。

## 序.2.2 地球温暖化対策のもつ副次的効果・便益の提示を通じた対策促進

これまで国内外において、本格的な地球温暖化対策の実施に向けての歩みが平滑でなかった主な原因は、対策に要する費用負担やこれに起因する経済への負の影響に対する懸念が、対策実施による恩恵への認識を上回っていることにある。すなわち、たとえば気候変動による海面上昇に適応するため将来世代が負う対策費用は莫大である。長期的にみれば地球温暖化対策を積極的に講ずることは経済的にも合理的なことであるが、このような合理性は現世代の対策強化の動機付けにはなり得ていない。

このような状況を背景に、近年、これら対策の現世代への副次的効果・便益を訴求していくことが求められつつあり、欧米諸国を中心として、地球温暖化対策のもつ副次的な効果・便益を定量化する研究が盛んになり始められている。

そこで本研究では、地球温暖化対策の副次的効果・便益に関する世界の研究動向をレビューしたうえで、わが国における地球温暖化対策の副次的効果を積み上げ型で推計するモデルを開発し、わが国の具体的地域にこのモデルを適用して具体的な副次的効果の発現の程度を定量化することを第二の目的とする。このことを通じて、地球温暖化対策の意義付けを強化するとともに、地球温暖化対策と大気汚染対策が連携・統合した強力な政策推進への貢献が期待できる。

### 序.3 本研究の概要

本研究全体の流れをフローチャートに示すと、図 1-1 のようになる。

第 1 章では、地球温暖化対策支援を目的とした二酸化炭素の将来排出量推計モデルの国際的な開発・利用状況をレビューする。さらに実際の適用事例も取り上げることで、国内外でのニーズに対応する推計モデルを開発・利用するにあたっての課題を整理する。

とくに、きめ細かな二酸化炭素排出削減対策の分析評価に適していると考えられるボトムアップモデル、なかでもエネルギー需要サイドを詳細に記述するエンドユースモデルに焦点をあて、その国内外での開発・利用の状況をレビューすることにより、今後の当該分野のモデル開発に際しての方向性を提示する。

つぎに第 2 章では、積み上げ型の推計モデル（AIM エンドユースモデル）を用いてわが国の近未来における二酸化炭素排出量を推計する。そして、このモデルを用いた推計を含むわが国における各種の二酸化炭素排出量推計を巡る諸議論を概観し、2008～2012 年に基準年比で-6%というわが国の排出削減目標をいかに全体として合理的かつ効率的に達成するかについての検討・研究の動向・現況を把握する。

以上を踏まえ、既往のモデル推計の限界を克服し具体的政策形成に貢献すべく、過去および将来の二酸化炭素排出推計量をマクロ指標、個別対策技術等により分析評価し、今後重点的に実施すべき個別具体の対策の抽出を行う。

第 3 章では、経済的に負の影響が大きいと考えられている地球温暖化対策のもつ、現世代に対する副次的な便益を定量化し、当該対策実施の根拠を強化しようとする国際的な研究動向をレビューする。一般的には、気候変動による海面上昇に適応するため将来世代が負う対策費用は莫大となり、長期的にみれば地球温暖化対策を積極的に講ずることは経済的にも合理的なことであるが、このような合理性は現世代の対策強化の動機付けにはなり得ていない現状を踏まえレビューを行う。

とくにこの章では、「地球温暖化対策の副次的便益」という比較的新しい概念の政策形成への活用を念頭に置き、その概念や定義・分類、推計方法とそれを巡る論点を明らかにする。



つぎに第4章では、第3章のレビューを踏まえ、わが国における地球温暖化対策の副次的効果（大気汚染物質の排出低減効果）の発現状況を定量化するため、地域積み上げ型の地球温暖化対策副次的効果推計モデル **ALICE**（**Ancillary-effects estimating model for Local governments to Improve their Comprehensive Environment**）を開発する。そして、このモデルをわが国の実地域に適用し、当該地域の地球温暖化対策推進計画を実施した場合の大気汚染物質の排出低減に及ぼす副次的効果を推計する。

このなかでは、きめ細かな政策設計に活用できるよう、積み上げ型モデルの特徴を活かして、個々の地球温暖化対策別の副次的効果分析やこれら効果発現の要因分析も行う。さらに、これらの検討を踏まえ、地球温暖化防止と大気環境保全を統合した政策立案への本モデルの活用方を提示する。

第5章では、わが国の大気汚染対策の歴史と近年の大気環境問題の課題をレビューしたうえで、この課題に対応するための新たな大気環境政策の展開およびこのなかでの大気汚染対策と地球温暖化対策の関連を考察する。また、この関連性を踏まえて、大気汚染対策と地球温暖化対策の統合政策の意義・要請を再整理し、地球温暖化対策のもつ副次的効果・便益の統合政策形成への現実的な適用方策と課題を提示するとともに、適用のための体制整備、すなわち地球温暖化対策と大気環境対策の連携・統合のあり方を提案する。

**第 1 章 地球温暖化対策効果推計モデルの開発状況のレビューと分析**

政策形成に活用できるレベルでの対策・技術別の効果分析例はほとんどないとのレビュー結果を踏まえ、わが国での地球温暖化対策別の効果を実推計する。

**第2章 エンドユースモデルを用いたわが国の地球温暖化対策別の効果推計**

対策技術別の効果分析の結果は、政策形成上極めて有用であることから、地球温暖化対策の副次的効果の推計においても対策別効果を詳細に分析する。

**第 3 章 地球温暖化対策の副次的便益の概念と推計方法**

地球温暖化対策の促進するための副次的便益推計に関する既往研究をレビュー。

地域積み上げ型モデルが有用との分かり、これを開発し、わが国の実地域へ適用する。

**第 4 章 地球温暖化対策の副次的効果推計モデルの開発とわが国への適用**

副次的効果・便益の推計結果をいかに政策形成に活用できるかを考察する。

**第5章 地球温暖化対策の副次的効果・便益分析の政策形成への活用**

大気汚染対策と地球温暖化対策の統合政策のあり方を提案

図 1-1 本研究論文全体の流れ

**<文献>**

- 1) IPCC, Summary for Policymakers: A Report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate, 2001.
- 2) 環境省, 地球環境保全関係閣僚会議資料, 2002.
- 3) 地球温暖化対策推進本部, 地球温暖化対策推進大綱, 2002.



## 第1章 地球温暖化対策効果推計モデルの開発状況のレビューと分析

地球温暖化対策をめぐっては、1997年12月に京都議定書が採択され、その発効が迫ってきた。これに対応して、2010年前後までの期間では、どこまで各国が温室効果ガスの排出量を削減できるかという議論から、決められた国際的な削減目標を如何に費用効果的に達成するかという議論に移行しつつある。

また、先進締約国が開発途上国に地球温暖化対策プロジェクト支援を行った場合、当該プロジェクトによる温室効果ガス排出削減量の一部を支援した先進国が受け取るという仕組みとしてクリーン開発メカニズム(CDM)が同議定書に盛り込まれた。このようなプロジェクトによる温室効果ガス排出削減量等の評価方法の確立も今後の大きな課題である。

そこで本章では、地球温暖化対策支援を目的とした二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の将来排出量推計モデルの国際的な開発・利用状況をレビューするとともに、実際の適用事例も取り上げることにより、このような国内外でのニーズに対応しうる推計モデルを開発・利用するにあたっての課題を整理分析する。

とくに、きめ細かな二酸化炭素排出削減対策の分析評価に適していると考えられるボトムアップモデル、なかでもエネルギー需要サイドを詳細に記述するエンドユースモデル<sup>1)</sup>に焦点をあて、その国内外での開発・利用の状況をレビューすることにより、今後の当該分野のモデル開発に際しての方向性を提示する。

### 1.1 二酸化炭素排出量推計モデルの概説

#### 1.1.1 二酸化炭素排出量推計方法の概説

エネルギー起因の二酸化炭素排出量を推計するためには、燃料消費量に当該燃料に含まれる炭素分を乗じることが基本となる。燃料中の炭素分については、その種類ごとに一定の係数が与えられることから、推計への信頼性はいかに燃料消費量を的確に予測できるかにかかっている。

将来の燃料消費量や二酸化炭素排出削減のための費用を予測するうえで重要な前提条件としては、人口、経済成長率、エネルギー需給構造、エネルギー機器・技術の効率、エネルギー価格などをあげることができる。

このような前提条件から将来のエネルギー消費量や対策費用を推計することになるが、その

アプローチはトップダウンモデルとボトムアップモデルによるものの2つに大別できる。

トップダウンモデルは経済政策を分析するために構築されたものであり、トップダウンというのは、消費、価格、所得などの集計されたデータを用いて、エネルギー、輸送、工業製品などの最終需要財に対する価格弾性値や所得弾性値を計量経済学の方法を用いて推計することによって由来している。

一方、ボトムアップモデルは、エネルギー、輸送などの分野におけるニーズにしたがって作られてきたものであり、需要と供給を細かく分類し、分類ごとに所与の活動条件を満たすようにエネルギー機器を導入・運転させる。このアプローチでは特定の技術から得られる効率性向上や炭素集約度の異なる燃料技術間の代替の可能性を明らかにできる。

経済行動を内生化しているモデル（一般的にはトップダウンモデル）は経済効果などを予測するのに適しているのに対し、それを外生化したモデル（一般的にはボトムアップモデル）は技術的代替の可能性をシミュレートするのに適している。

### 1.1.2 トップダウンモデルとボトムアップモデルの比較

温室効果ガスの排出量、排出削減費用等を推計するモデルは、1.1.1に概説したようにトップダウンモデルとボトムアップモデルの2つのタイプに分類できる。図 1-1<sup>2)</sup>にこれらのアプローチの概要を示し、また、表 1-1<sup>2)</sup>に両モデルの特徴を比較する。

表 1-1 トップダウンモデルとボトムアップモデルの主な特徴

判断基準	トップダウンモデル	ボトムアップモデル
分解のレベル 行動の表現	低い：1～10の部門／活動 包括的だが、エネルギー関連は詳細でない。	高い：エネルギーエンドユースの範囲 詳細だが、包括的ではない。
技術の表現	・マクロな投入産出や計量経済分析 ・生産関数が代替可能性を決定	・工学的データと費用データに基づく。 ・物理的フローを記述
技術の変化	・価格と収入の効果 ・外生的な技術進展(AEEI)	・市場占有率の仮定 ・技術効率の予測 ・学習効果
方法論的アプローチ	・計量経済又は単年ごとの較正 ・経済成長は予測又は外生的	・表計算分析（記述的理由） ・シミュレーション／最適化
効率の格差	・エネルギー補助金以外はエネルギー 効率に格差はない。 ・全市場が十分に競争的	・エネルギー市場は効率的でない。 ・費用効果的なエネルギー節約の余地あり。
市場障壁や隠れた費用	・新技術採用の費用は、観測された行動に反映されている。	・市場障壁が新技術の採用を阻んでいる。 ・隠された費用は小さくなりがちである。
市場障壁等を除くための取引費用	高い	低い

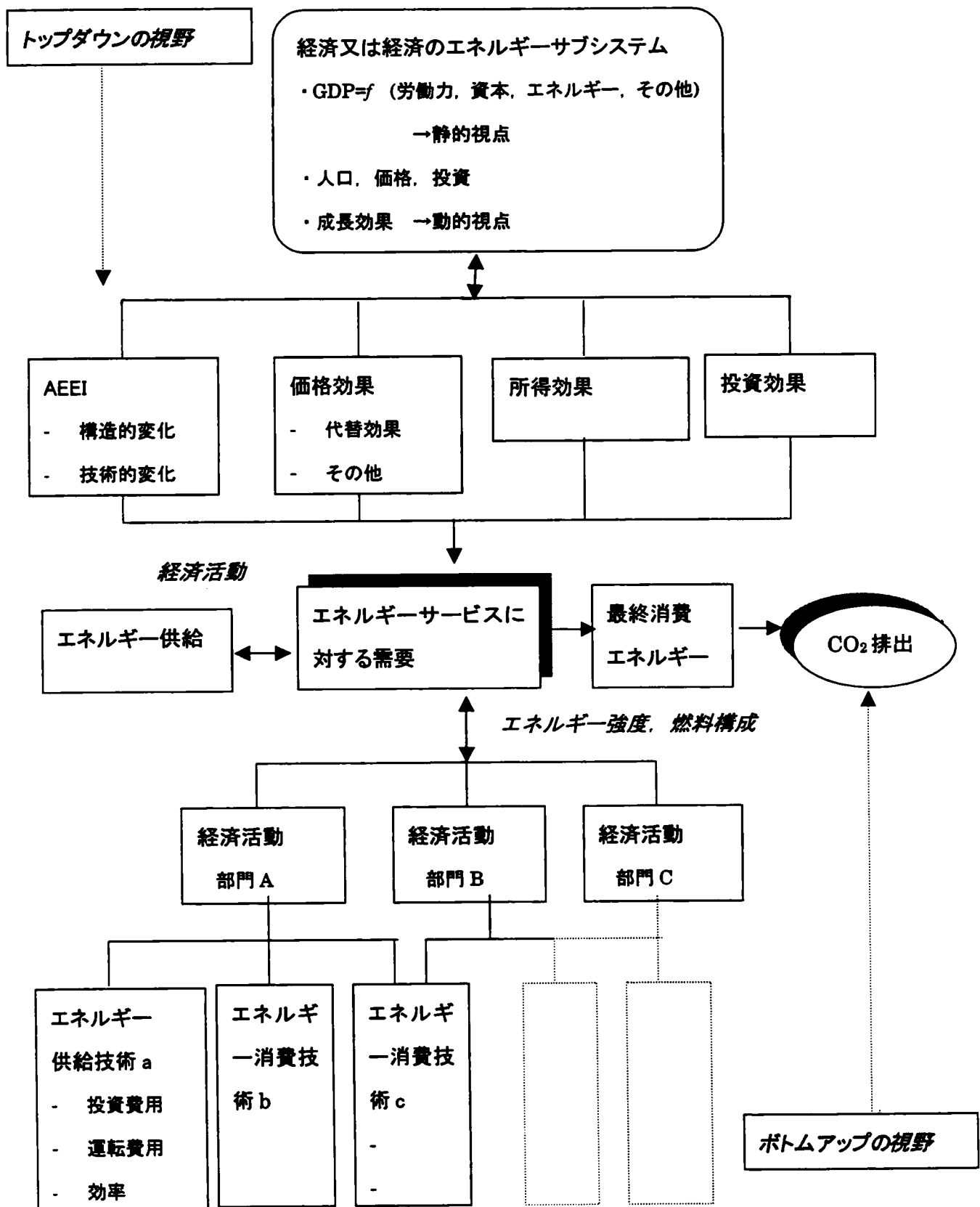


図 1-1 トップダウンモデルとボトムアップモデルのアプローチの概要



### 1.1.2.1 トップダウンモデル

図 1-1 の上から降りてくる推計の流れがトップダウン型であり、GDP 等のマクロ経済社会指標の推定値をベースに将来のエネルギー需要を予測するモデルである。

このタイプのモデルでは、過去の経済成長とエネルギー消費との関係に基づき、両者間の弾性値やエネルギー価格弾性値が将来を通じて過去のまま保たれることを前提に、将来のエネルギー消費量を外挿する。炭素税といったマクロ政策によってエネルギー価格を変化させたときのエネルギー消費量の変化やそのマクロ経済への影響を予測することができる。

このタイプのモデルは、エネルギー部門と経済の他の部門、経済全部門とマクロ経済、国内エネルギー市場と世界エネルギー市場などの間のフィードバック関係に注目している。

なお、トップダウンモデルでは、エネルギー技術を詳細に記載せず、消費者の行動を集約的に表現する。たとえば、規制などに基づかない効率改善は、多くの場合自律的エネルギー効率改善率（AEEI）という指標で表現する。したがって、対策技術の費用効果や消費者の行動を具体的に分析することは困難になる。

### 1.1.2.2 ボトムアップモデル

図 1-1 の下から上っていく推計の流れがボトムアップ型であり、エネルギー部門ごとに個々のエンドユーザーの消費行動やエネルギー技術の変化を追跡するモデルである。

このモデルでは、技術に関連する詳細な情報（機器の効率、価格、普及率、稼働率など）を入力して、消費行動や技術変化を詳細に記述できるために、計算結果を消費行動や技術変化の視点から具体的に評価できる。したがって、温室効果ガス排出量削減に向けた政策導入を検討するにあたり、具体的な施策の方向や当該施策の効果を把握するのに適している。

しかしながら、このタイプのモデルの場合、マクロ経済の観点からの包括性が十分ではなく、対策プログラムの導入によるマクロ経済へのフィードバックが表現できないことに留意が必要である。

トップダウンモデルの考え方との大きな違いは、エネルギー市場に歪みが存在し、これを是正すれば費用効果的に削減する余地が大きいと考える点にあり、効率的な技術普及の見通しが楽観的になり、対策費用も低めにでる傾向をもっている。

ボトムアップモデルは2つに分類でき、ひとつは、特定の技術の組み合わせをあらかじめ設定する表計算方式、もうひとつは投資決定を内生的にシミュレートするようなシミュレーショ

ンモデルと最適化モデルである。

## 1.2 エネルギーエンドユースモデルの開発・利用の状況分析

1.2 では、1.1 で述べたボトムアップモデルに属するエンドユースモデルの長短をまとめたうえで、最新のモデル開発状況と政策形成等にあたってのこれらモデルの利用状況を整理分析する。

### 1.2.1 エネルギーエンドユースモデルの特徴

エネルギーエンドユースモデルの長所を再整理すると、つぎのような点があげられる<sup>3)</sup>。

- 費用効果的な対策を具体的に示すことができる。
- 構造変化による効果とエネルギー効率による効果を区別して、分かりやすく示すことができる。
- 費用最小のエネルギー構造と現実のエネルギーシステムを比較することにより、社会経済の障壁の影響やモデルの不完全性を特定できる。

一方、その短所としては、

- 市場の障壁や現実の消費行動をうまく表現できない。
- 対策実施の経済影響を広く分析できない。
- 現段階で分かっている技術メニューとその特性に拘束され、通常、技術の学習効果や規模の経済を織り込んでいないので、長期（20~30 年）の技術見通しについては可能削減量が過小になりがちである。

のような点が指摘されている。近年、このような短所を克服するための研究が継続的に進められている。

### 1.2.2 代表的なエネルギーエンドユースモデルの概要

近年、開発が進んでいる主なエネルギーエンドユースモデルの一覧を表 1-2 に示す。

タイプとしては、全部門を対象とする総合モデルと特定の部門のみを対象とする部門モデルに大別できる。さらに総合モデルは、特定の技術の組み合わせで所与の社会経済のニーズに応えることを説明するような同時方程式を解く表計算方式のものと、投資決定を内生的にシミュ

レートするようなシミュレーションモデルや最適化モデルに分かれる。

表 1-2 世界で開発されている主なエネルギーエンドユースモデル

タイプ	モデル名	開発者(国・機関)	モデルの概要
総合方式	LEAP	ストックホルム環境研究所 (米) <sup>4)</sup>	・部門別にエネルギー消費量を集計するアカウンティング型のツール
	STAIR	ローレンスバークレー国立研究所 (米) <sup>5)</sup>	・主に途上国向けのエネルギーシステムモデル
	GACMO	エネルギーと環境に関する共同センター (UNEP) <sup>6)</sup>	・CO <sub>2</sub> 以外の温室効果ガスも対象にしてエネルギー分野以外にも推計対象を拡大した途上国向けの表計算モデル
最適化・シミュレーション	MARKAL	ブルックヘブン研究所 (米), IEA ほか	・主にエネルギー供給部門を対象としたシステム最適化モデル
	ICARUS	ユトレヒト大学(蘭)	・詳細な省エネルギー技術情報を有する技術積み上げモデル
	IKARUS	FhG-ISI(独) <sup>7)</sup>	・システム費用を最小化する最適化モデル
	NEMS	ローレンスバークレー国立研究所ほか (米)	・エネルギー需要・供給の各部門において、詳細で現実的な設備・機器の選択ロジックを有する技術積み上げモデル
	AIM エンドユースモデル	京都大学・国立環境研究所 (日本)	・個々のエネルギー消費機器の選択が経済合理的に行われるようシミュレートするエンドユースモデル
部門モデル	ISTUM	米国エネルギー省 <sup>8)</sup>	・機器選択が費用最小化ロジックで独占にならないよう、費用比とシェアの関係のオプションを用意した技術積み上げモデル
	LIEF	アルゴンヌ国立研究所(米)	・18 業種の省エネルギー供給曲線に基づき、将来のエネルギー消費量を推計するモデル
	REEPS	ローレンスバークレー国立研究所 (米) <sup>9)</sup>	・家庭部門のエネルギー消費予測モデル
	MURE	情報システム研究所 (伊) <sup>10)</sup>	・建築物分野の省エネルギー・費用計算ツール

注) 上記のうち本文中で正式名称を記載していないものは次のとおり。なお、MURE の正式名称は不詳。

LEAP: Long-range Energy Alternatives Planning systems, STAIR: Service, Transport, Agriculture, Industry, and Residential energy model, GACMO: Greenhouse Gas Costing Model, ISTUM: the Industrial Sector Technology Use Model, LIEF: the Long-range Industrial Energy Forecasting model, REEPS: the Residential End-use Energy Planning System

表 1-2 のなかで、エネルギーシステム全体を対象とする最適化/シミュレーションモデルの代表的なものについて以下に述べる。

### 1) MARKAL(MARKet Allocation)線形計画モデル

MARKAL は、国際エネルギー機関 (IEA) が中心となって多数の国と連携して開発普及を進めてきたモデルである。エネルギー技術ごとに性能、費用 (初期投資、運転)、機器の導入時期と寿命等に関するデータベースを有し、一定の計画期間内でエネルギーシステム全体の費用を最小化するよう最適化する <sup>11)</sup>。国家による中長期的な発電施設整備計画の作成の際などに多く活用されている。近年、対策の経済影響を把握できるようマクロ経済モデルと連

動した MARKAL-MACRO <sup>12)</sup>が開発された。また、これまで MARKAL が主に扱ってきたエネルギー技術による二酸化炭素排出削減に加え、廃棄物のリサイクルや製造に関する物質循環プロセスを評価できるようシステムを拡充した MARKAL-MATTER (MATERials Technologies for greenhouse gas Emissions Reduction) <sup>13)</sup>の開発も進んでいる。

## 2) ICARUS (Information system on Conservation and Application of Resources Using a Sector approach)

ICARUS は、欧州の代表的なエンドユースモデルであり、約 900 種のエネルギー対策技術に関する省エネルギーポテンシャル量と費用に関する詳細なデータベースを有しており、ここに投資費用、運転費用、設備の平均寿命等が記述されている <sup>14)</sup>。EU 加盟各国の二酸化炭素排出削減のポテンシャル推計に活用された。

## 3) NEMS (National Energy Modeling System)

NEMS は米国エネルギー省が開発を進めているモデルであり、部門別にエネルギー消費量を推計する。各部門での推計には次のような特徴をもつ <sup>15),16)</sup>。

### エネルギー転換部門：

発電については、エネルギー需要の増大や既存施設の退役に応じて、費用が最小化されるよう新たな設備が導入される。ただし、既存の火力発電と原子力発電については、更新時期前でも新たな設備の導入のほうが費用が小さければ更新することとしている。

### 産業部門：

生産量あたりのエネルギー使用量(UEC)を業種別・プロセス別に設定し、技術可能性曲線(TPC)に基づいて、将来のエネルギー消費量を推計する。

### 民生部門：

新しい機器や家屋の選択の際には、技術特性、機器効率基準、エネルギー価格、消費者の嗜好等が考慮される。消費者が異なるタイプの機器のなかから選択する際、比較費用(Relative Cost)という概念が用いられ、この費用のなかに過去の選択実績を反映した重み付け係数(割引率や弾性値といった指標で表現)が織り込まれている。

## 4) AIM (Asia-Pacific Integrated Model)エンドユースモデル

AIM エンドユースモデルは、京都大学・国立環境研究所がアジア太平洋地域を対象に開発を進めている地球温暖化統合モデルのサブモデルのひとつである。このモデルでは、約 200

種類のエネルギー消費機器について、エネルギーサービスあたりのエネルギー消費量、費用（初期投資、運転）、寿命等のデータが内包されており、個々の機器の更新に際して、最も費用が小さなもの選択され、その結果を集計して全体のエネルギー消費量や二酸化炭素排出量が計算される<sup>17)</sup>。炭素税や補助金の効果推計等に活用されてきている。

### 1.2.3 エネルギーエンドユースモデルの利用状況の分析

エネルギーエンドユースモデルの利用状況について、先進国における政策形成のための利用、途上国を対象とした研究のための利用および関係主体参加型の統合モデルの利用、という3つの観点から分析を進める。

#### 1.2.3.1 先進国における政策形成のための利用

##### 1) 気候変動枠組条約に基づく通報における利用

気候変動枠組条約に基づく通報は、締約国各国における温室効果ガス排出量の現状および将来見通しならびに対策の実施状況を定期的に締約国会議へ報告することにより、条約の目的に照らした各種取組みの推進状況を点検するために行われているものである。

温室効果ガスの排出量見通しに関して、1997年に提出が義務付けられた第2回目の通報で具体的に報告が求められたのは、二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、HFC、PFC および六弗化硫黄の2000年、2005年および2010年における排出量の推計値（参照ケース／対策ケース）、推計に使用した手法と社会経済的前提条件、個々の対策の効果分析等である。並行的に第3回締約国会議（地球温暖化防止京都会議）に向けた排出削減目標の交渉が進められていたことから、各国がどのような見通しを提出するかが注目された。

このなかで、ほとんどの先進締約国はエネルギー起因の二酸化炭素排出量を他の温室効果ガスとは別に推計しており、とくに、エネルギー起因の二酸化炭素排出量推計および対策効果については、他のガスの排出量推計に比べ精緻で丁寧に説明している<sup>18)</sup>。一方、通報における将来推計の目的が必ずしも明確ではないことや各国のエネルギー政策で用いられている手法の継続性との関連などから、使用された二酸化炭素排出量推計の手法は多種多様であった。

このような推計に用いられたモデルやシナリオ、前提条件などの一覧を表1-3に、また、対策の実施効果の算定結果を表1-4に示す。

表 1-3 第 2 回通報における CO<sub>2</sub> 排出量推計のためのモデルと前提条件(2010 年)

国名	モデル	シナリオ・ケース	GDP成長率	人口成長率	燃料価格等	部門別指標
オーストリア 19)	経済トップダウンモデル・古典的エネルギー予測・技術積み上げ	対策なし・現行対策・追加対策				
カナダ 20)	計量経済とエンドユースプロセス	標準/対策				
フィンランド 21)	計量経済分析とボトムアップモデル	EMS (石炭) EPO1(LNG) EPO2(原子力)	2.5%/y			
ドイツ 22)	経済モデル	標準/対策	(1996-) 2%/y			
オランダ 23)	ボトムアップモデル	Trend Favourable <sup>注1)</sup>	(1990-2020) 2.3%/y	0.5%/y	(2020) 原油\$20/bbl \$25/bbl	産業3.3%/y 家庭1%/y 交通0.7%/y
ノルウェー 24)	マクロ経済モデル 部門別検討 中期: MODAG 長期: MSG		(1995-2010) 2.0%/y			エネルギー効率 1%/y向上
スウェーデン 25)	電力価格: ELFINモデル エネルギー需要: ISMOD(産業)		(1995-2010) 1.9%/y		原油\$23/bbl 石炭\$53/ton	(1995-2010) 産業2.2%/y 個人消費 2.2%/y
スイス 26)	ボトムアップ (エネルギー) + 均衡モデル (経済影響)	I 既存対策 II a エネルギー法 II b CO <sub>2</sub> 税	(1990-2010) 1.7%/y	(1990-2010) 0.6%/y	原油\$21/bbl	
イギリス 27)	経済モデル+ボトムアップモデル		(1990-2010) 2.1%/y	(1990-2010) 0.3%/y	原油\$23/bbl 石炭\$51/ton	(1990-2010) 産業2.1%/y
アメリカ 28)	IDEASモデル (ボトムアップ <sup>注2)</sup> トップダウン)	標準/対策	(1990-2010) 2.1%/y	(1990-2010) 0.9%/y	原油\$20/bbl	(1990-2010) 産業2.1%/y 家庭1.0%/y
日本 29)		標準のみ	(2000-2010) 2.0%/y	(2000-2010) 0.06%/y	原油\$30/bbl	(2000-2010) 旅客1.6%/y 貨物0.9%/y

注1) \$10/bblのエネルギー・炭素税を含む各種の欧州連合施策を実施するシナリオ。

注2) ボトムアップ法で求めた経年的費用変化曲線を取り込んでいる。

表1-4 第2回通報におけるCO<sub>2</sub>将来見通しで算定された対策効果

国名	削減量計	部門横断対策	エネルギー転換部門	産業部門	民生部門	交通部門
オーストリア <sup>19)</sup>	No-Regretの範囲で算定					
フィンランド <sup>21)</sup>	7~15(2010)	エネルギー効率向上で2~5	燃料転換で2~5 新エネ普及で3~5			
ドイツ <sup>22)</sup>	171(2010) <sup>注2</sup>					
オランダ <sup>23)</sup>	18(2010)					
スウェーデン <sup>25)</sup>	23.7(2010) <sup>注3</sup>	投資支援により0.7	CO <sub>2</sub> ・エネルギー税により18.5 (エネ転・産業部門計)		エネルギー効率向上により0.2	CO <sub>2</sub> ・エネルギー税により4.3
スイス <sup>26)</sup>	4.7(2010)	CO <sub>2</sub> 税により4.7			リバウンド効果は考慮せず	
イギリス <sup>27)</sup>	129(2000)		燃料転換で62.3, 原子力効率向上で10.6, 新エネ普及により7.3	エネルギー効率向上により11.0+ 1.8, コージェネレーション普及で12.8, 公共部門で2.9, 省エネトラスト1.8, 付加価値税で1.5, その他5.9 (産業・民生部門の計)		道路燃料税により11.0
アメリカ <sup>28)</sup>	348.0(2010)	基金アクションにより33.4	燃料転換25.7 (市場自由化により25~40)	42.2	業務91.3 家庭103.0	56.8
日本 <sup>29)</sup>	207 (2010)			省エネ法52.4 中堅工場4.4 技術開発3.7	機器効率35.6 住宅性能10.3 建築物27.5 技術開発8.8 広報強化18.3	燃費改善11.7 低公害車2.2 輸送機器1.8 技術開発1.1 物流効率9.2 交通対策11.4 遠隔勤務4.0 空ぶかし抑制1.1 広報強化4.0

注1) 数字の単位はMtCO<sub>2</sub>/年

注2) ICARUS (線形計画・費用最小化型ボトムアップモデル) により全体効果を算定

注3) MARKAL-MACRO (全体費用最小化ボトムアップ・経済統合モデル) により税の効果を算定

これら収集整理した情報に基づき、以下に、①モデル・推計方法、②将来シナリオの設定、③社会経済的な前提条件、④削減対策の効果、⑤推計手法等に対する評価、の5つの観点から分析を行う。

### ①モデル・推計手法

上述した第2回目の通報はそのガイドラインにて、個々の対策実施による二酸化炭素排出削減効果を定量化するよう求めていたため、技術積み上げモデルを利用した推計を行う国が多くみられた。また、多くの国にて計量経済的のトップダウンモデルと技術積み上げモデルを組合せ

将来の排出量を推計しており、手法の高度化が進んでいることが推測された。なお、使用したモデルや手法はそれぞれの国の政府機関・研究所等において開発整備されてきたものが多いが、世界各国に一般的に流布されている手法をそのまま適用したものもみられた。

## ②将来シナリオの設定

シナリオの設定方法についてみると、

- 一つのベースライン（GDP、原油価格等に関する感度解析を付加したものもある）を設定したもの
- 多数の感度解析による複数シナリオを設定したもの
- 対照的な複数の記述的シナリオを設定したもの
- 政府等の既存の推計、シナリオを引用したもの

のようにさまざまである。同じベースライン（あるいはリファレンス）シナリオでも、「対策なし」、「現行対策維持」などその内容はさまざまであるとともに、「対策シナリオ」についても「現在決定している新規対策のみ」の場合と「計画・検討中の対策も含む」場合があるので、将来の排出傾向の国際比較の際には注意が必要となる。

## ③社会経済的な前提条件

前提条件についてみてみると、推計上もっとも重要である経済成長率は、どの先進締約国も2010年まで年2%前後の伸びを見込んでおり、世界経済がグローバル化している状況下で全体的には妥当な設定と判断できる。人口については西欧諸国が年0.5%程度の伸びを想定しているのに対し、米国では年1%の伸びを前提とするなど、先進諸国間でも開きがある。

将来のエネルギー消費動向を左右する原油価格は、どの国でも1バレル(bbl)あたり20米ドルを仮定（炭素税等を導入した場合は当然上昇）し、また、工業生産の伸びは、概ね年約2%（オランダは年3.3%）と設定するなど、推計結果を国際的に比較しやすい状況にあるといえる。

## ④削減対策の効果

対策効果の推計状況については、その提示方法や精粗は用いたモデルとも関連しさまざまであり、個々の対策ごとに定量化している国は多くない。また、ドイツやスウェーデンでは、対策効果の定量化のために特別なモデル（ICARUS や MARKAL）を活用して、エネルギーやCO<sub>2</sub>に対する税賦課の効果などエネルギー価格変動の影響を算定している。



## ⑤第2回通報での二酸化炭素排出量推計手法等に関する評価

以上の各国の通報に対し、専門家から構成されるチームが詳細審査を実施しているが、その結果、二酸化炭素排出量推計手法等に対し、次のような点が指摘されている<sup>30)~35)</sup>。

- モデルの質やこれを支える知見・データのレベルが高く、対策分析上有効なツールとして評価されたもの：スウェーデン、米国
- 第1回通報に比べ推計手法等に向上がみられるもの：カナダ、ドイツ
- 透明性に欠け、評価が困難されたもの：フィンランド（対策とシナリオの関係）、ドイツ（前提条件）
- 通報ガイドラインに沿っていないもの：オーストリア、米国（いずれもガスごと、部門ごとに示されていない）
- 対策効果のダブルカウントについて配慮しているもの：スイス（税と規制）、米国
- 将来排出量が過小評価ではないかと指摘されたもの：カナダ、ドイツ（原油価格の設定）
- 対策効果量についてモデル構造上の限界を指摘されたもの：ドイツ、スウェーデン（いずれも価格以外の障壁の存在）

このうち最後の点の指摘は、1.2.1 で述べたように、ボトムアップモデルが費用最小化の観点のみから最適化を行っている構造的な特徴に対するものであり、このタイプのモデルの開発・利用上留意すべき重要な点である。

また、全般的に電力を含むエネルギー市場自由化のCO<sub>2</sub>排出量への影響については、定量化が困難で不確実であると評価されたが、先進各国でこの分野での市場自由化は急速に進んでおり、この影響評価は今後の大きな課題である。

## 2) 京都議定書における排出削減目標提案のための利用

地球温暖化防止京都会議に向けた削減目標提案にあたっては、第2回通報とは別途に、モデル推計に基づいた厳しい議論が行われた。

米国においては、1995年9月にエネルギー省を中心とした5つの国立研究所の研究プロジェクトによる各部門の削減ポテンシャルの積み上げモデルの推計結果が発表され、炭素1トンあたり50ドルの排出権価格の設定と積極的な施策を講ずることによって、2010年の排出量を約390MtC/年削減でき、その結果、1990年レベルに安定化できるとの見通しが発表された<sup>36)</sup>。この研究成果は、翌月のクリントン大統領による米国提案（排出権取引等の条件付きで2010年に1990年レベルで安定化）に少なからぬ影響を与えたといわれている<sup>37)</sup>。

また、EUはこれに先んじて同年3月に2010年にEU全体で90年レベルより15%削減と

の提案を行ったが、これはユトレヒト大学による各国のエネルギー効率向上ポテンシャルに関する技術積み上げモデルによる研究結果<sup>14)</sup>を基とした政治交渉が行われ、EU 全体での合意に至ったものであった。

### 1.2.3.2 開発途上国を対象とした研究での利用

開発途上国におけるボトムアップモデル型研究の多くは、国際機関や先進国の研究所の主導により実施されており、LEAP, STAIR, GACMO, MARKAL, AIM エンドユースモデルなどのモデルが活用されている。複数の国を対象とした代表的な例として、ここではローレンスバークレー国立研究所(LBNL)によるものと、国連環境計画エネルギーと環境に関する共同センター(UNEP/CCEE)によるものを概説する。

前者は、アカウンティング型のエネルギーシステムモデル STAIR を用いて、インド、インドネシア、中国、アルゼンチン、ブラジル、メキシコ、ヴェネズエラなどの国を対象に、1985~2025 年を計画期間とした高および低排出シナリオの将来の二酸化炭素排出量を推計したものである<sup>38)</sup>。

後者は、ブラジル、インド、エジプト、セネガル、タイ、ヴェネズエラ、ジンバブエなどの国を対象に、2005/2010 年および 2020/2030 年における排出削減目標（対ベースライン）を 12.5~50%の範囲で設定し、エネルギーシステムモデルを用いて、この目標を達成するための費用を算出したものである<sup>39)</sup>。

また、UNEP/CCEE は、推計の対象ガスを二酸化炭素以外の温室効果ガスにも広げ、複数の対策に関する費用効果を分析できるようにした GACMO を開発し、ボツワナ、ザンビア、ペルー、コロンビア、デンマークにおける各種温室効果ガス排出抑制対策の評価に用いている<sup>6)</sup>。

### 1.2.3.3 関係主体参加型の統合モデルの利用

地球温暖化対策を推進するためには、政府のみならず、民間企業、NGO、市民等の各層の参加・協力が不可欠であることはいうまでもないが、統合モデルを活用した市民社会との対話を通じて、これらのステークホルダー（関係主体）の気候変動問題に対する意識向上や地球温暖化対策のための行動を進めようとする動きが欧州などで始まりつつある。

たとえば、ULYSSES(Urban Lifestyles, Sustainability and Integrated Environmental Assessment)と呼ばれる欧州におけるプロジェクト<sup>39)</sup>は、1996 年~1999 年に気候変動に関す

る統合評価への市民参加を進めた。このプロジェクトでは、バルセロナ、ヴェニス、アテネ、チューリヒ、フランクフルト、マンチェスターおよびストックホルムにおいて 50 の対話グループを設け、300 人の市民を巻き込んで計 250 回ものセッションを開いた。このなかでは、会議モデレータやモデルの専門家のガイドを得ながら、IMAGE, TARGETS, ICAM, POLESTAR といった評価ツールを用いて、気候変動やその対策オプションについて議論が行われた。このようなモデルを活用することにより、政策決定やライフスタイルのあり方が地球規模あるいは地域規模の気候変動に与える影響に関する議論を促進し、その結果は最終的に市民レポートとして取りまとめられている。

気候変動問題やその対策手段は複雑で理解や協力が得られにくい側面があるが、評価モデルをベースとした対話を通じて、これら問題を市民側に身近なものに近づけ、かつ、モデル作成者側にとっても市民社会からのモデルに対する反応やインプットを得ることができるなど、モデル開発利用の新たな試みとして注目に値する。

### 1.3 今後必要となるエネルギーエンドユースモデル研究の方向

地球温暖化防止京都会議までは、いくつかの削減レベルと時期を仮定して、それを達成するための費用を計算する研究が多かったが、同会議以降は、決められた削減レベルと時期を前提に、議定書に規定されたいくつかの国際的な取引に関する条項や柔軟性措置も取り込んだ対策費用研究が進められている。

このようななかで、エンドユースモデルの推計結果をより効果的に政策決定に反映させるためには、次のようなポイントが重要である。

#### 1.3.1 個別エネルギー技術別の効果分析

エネルギー消費やこれに伴う温室効果ガス排出の動向に関する過去の研究は、エネルギー需要全体と経済活動全体との関係把握、一定の社会経済の前提下での温室効果ガスの将来排出量の推計、いくつかのシナリオ間で対策に要する総費用を推計といったものがほとんどであり、このレベルの研究では、たとえば消費抑制のための方向性や具体的な施策の検討には十分ではなかった<sup>40)</sup>。

このため、エネルギー価格、技術の進展、エネルギー効率改善計画、原料構成の構造的変化、生産される材やサービス、人々の嗜好や移動性の変化等の要因に着目した分析が行われはじめ

た。このような要因分析により、

- 1) 分析対象のエネルギー効率のレベルを示すとともに、効率改善の余地を示唆すること
- 2) エネルギー効率に関する研究間の国際比較を可能とすること
- 3) エネルギー効率改善に向けた取組みの方向性を示唆すること

などが期待されている<sup>41)</sup>。

Schipper *et al.*<sup>42,43)</sup>は、エネルギー消費量を活動量、その構造およびエネルギー強度の3つの要因に分解している。しかしながら、どの技術の効率化がエネルギー消費抑制に寄与したかは、この分析でも明確にならないとともに、このような要因分析に基づく政策立案は過去のトレンドの延長線上になりがちであることに留意する必要がある。

また、将来のエネルギー消費やそれに伴う二酸化炭素排出量を要因別に推計した研究には、過去の経済指標、機器の効率化等の推移を外挿したものが多く<sup>42)</sup>、対策立案に具体的な示唆を与えるには至っていないのが現状である。実際の政策形成に貢献するためには、個別エネルギー技術・対策に着目した効果分析を行えるようなエネルギーエンドユースモデルの開発が不可欠である。

### 1.3.2 最適化モデルへの社会的要素の取込み

これまで多くのボトムアップモデルは、エネルギーシステムの構成や個々の消費者の挙動を経済合理的、すなわち費用最小化することをエネルギー機器選択原理と仮定するもの多かったが、実際には市場障壁、消費者の嗜好などのため原理通りの挙動が行われないことが指摘されている。このような指摘に対応し、複雑かつ予測しにくい消費者の選択行動を経済合理性以外の要因も含めた形で追跡し将来を予測する試みが始められており<sup>44)</sup>、1.2.2.3に述べたNEMS<sup>16)</sup>のなどもそれを目指していることが報告されている。このようなモデルの開発が進めば、たとえば高効率製品に対する現実的な消費者の行動を推計できるばかりではなく、費用が高くとも環境保全に貢献できるなら購入するといったグリーン購入の動向も予測することが可能となる。

### 1.3.3 技術に係る費用の将来見込み

現在のエネルギーエンドユースモデルのもつ技術データベースでは、技術の導入費用は将来も変わらないことを前提にしているものが多いが、新技術の普及の歴史をみると、その費用は年々下がるのが一般的である。このような新技術に関する学習過程をモデルに取り込む努力<sup>45)</sup>

も行われており、たとえば設置容量が2倍になったときに達成される費用低減の割合を主なパラメータとした関数などを使用している。このような学習曲線を取り込んだモデルの活用により、再生可能エネルギー等の新技術に対する望ましい補助金のレベルや支援施策のポートフォリオを推計できる。

### 1.3.4 CDM プロジェクトの評価

京都議定書に基づくクリーン開発メカニズム(CDM)プロジェクト評価のためには、

- 排出量削減定量化のためのベースラインと判断基準の設定
- プロジェクトの費用効果
- プロジェクトの持続可能性の分析（経済影響）
- 生ずるクレジットの公平な共有

が必要であり、このためにエンドユースモデルはこの作業を行うのに多いに活用できよう。実際、台湾において建築物を対象としたエネルギー・スター・ビルディング・プログラム(ESBP)の費用や効果の評価が MARKAL-MACRO<sup>12)</sup>を用いて実施されている。

### 1.3.5 エネルギーエンドユースモデルの国際比較

欧州委員会はエネルギー分野のボトムアップ型モデル開発に携わる世界の研究機関の参加・協力を得て、各種モデルの比較検証プロジェクト(ACROPOLIS)<sup>46)</sup>を推進している。この研究プロジェクトでは、PRIMES, POLES, TIMES, MESSAGE, NEV-NL, GMM(Global MARKAL-MACRO), MARKAL-Canada, NEMS, DNE21, AIMなどのモデルを用いて、1)排出量ベースライン設定のための初期条件の調和、2)外部費用内部化の影響推計、3)再生可能エネルギーの導入義務付け政策の影響評価、4)エネルギー効率基準の向上政策の影響検証、5)国際的な柔軟性メカニズムの影響評価、などを行う予定とされている。こうした比較プロジェクトや、モデル標準化の努力は、国際間の政策策定作業を潤滑に行うのに大きく役立つものと考えられる。

## 1.4 まとめ

近年、エネルギー分野のトップダウンモデルとボトムアップモデルの融合に多大な労力がは

らわれている。トップダウンモデル中の各種パラメータ，たとえば AEEI や代替の弾性値を，計量経済的な方法ではなく，ボトムアップモデルから得られる値を採用する試みがなされている。一方，ボトムアップモデルをマクロ経済モデルと連動して経済影響まで推計したり，企業や家庭におけるエネルギーに直接関連しない行動を取り込む努力も始まっている。

このようななかで，ボトムアップモデルに属するエネルギーエンドユースモデルの開発・利用状況をレビューした結果，気候変動枠組条約および京都議定書に基づく国際約束の履行や二酸化炭素排出削減に関する国内政策の立案の過程で，先進国，途上国を問わずこのタイプの推計モデルを効果的に活用していること，関係主体が参加した形での政策形成推進にこのような推計モデルが活用され始めていることなどが分かった。

しかしながら，今後，よりの確かつ具体的な政策形成を図っていくためには，エンドユースモデルのさらなる高度化が求められている。

具体的には，

- **個別エネルギー技術に着目した対策効果の分析:**

それぞれの国・地域における重点対策事項の抽出など具体的な政策形成に貢献できるよう，個別の地球温暖化対策の温室効果ガス排出削減効果を分析する方向性。

- **最適化モデルへの社会的要素の取り込み:**

市民・事業者が機器や設備を購入・更新する際の選択行動を，価格だけではなく嗜好性や環境教育の効果などの要因も含めた形で追跡し，将来の二酸化炭素排出量をより高度に予測する方向性。

- **技術に係る費用の将来見込みの精緻化と普及政策との連動:**

技術費用に関する学習曲線を取り込んだモデルを開発し，燃料電池や太陽光発電などの新技術に対する設置補助金の規模・期間や買取り電力価格面での支援のポートフォリオを提案する方向性。

- **CDM プロジェクト評価のための適用:**

先進国の協力により実施された途上国での地球温暖化対策プロジェクトが有する排出量削減効果の定量化やベースラインの設定，プロジェクトの費用効果分析などに適用する方向性。

- **エネルギーエンドユースモデルの国際比較・協調:**

一層厳しくかつ公平な国際削減目標の設定に加え，排出量取引，CDM 等国际協調された対策導入に備え，各国の推計手法を標準化し，国際的に比較検証が可能な土台を形成する方向性。

の5つの高度化が考えられ、本章ではその方向性を示した。

## <文献>

- 1) 島田 幸司・松岡 譲, エネルギーエンドユースモデルの京都議定書への適用に関する現状と課題, 環境情報科学第 29 巻第 2 号, p55-65, 2000.
- 2) IEA, Mapping the Energy Future –Energy Modeling and Climate Change Policy. OECD/IEA, Paris, 83pp, 1998.
- 3) Jochem, E. K., Policy Scenarios 2005 and 2020 –Using Results of Bottom–Up Models for Policy Design in Germany. The IEA International Workshop on Technologies to Reduce Greenhouse Gas Emissions: Engineering–Economic Analyses of Conserved Energy and Carbon, Washington D.C., 1999.
- 4) SEI-B (Stockholm Environment Institute-Boston), The Long-Range Energy Alternatives Planning System, Overview for LEAP Version 94.0. SEI-B, Boston, 38pp., 1993.
- 5) Sathaye, J., A. Ketoff, L. Schipper, S. Lele, An End-Use Approach to Development of Long-Term Energy Demand Scenarios for Developing Countries. Lawrence Berkley Laboratory, Berkeley, 40pp., 1989.
- 6) Callaway, J. M., J. Fenham, R. Gorham, W. Makundi, J. Sathaye, Economics of Greenhouse Gas Limitations –Handbook Reports, Sectoral Assessments, UNEP Collaborating Centre on Energy and Environment, Denmark, 118pp., 1999.
- 7) Ziesing, H. J., A Combined Approach Using Technology-Oriented Optimization, Along with Evaluation of Impacts of Individual Policy Measures. The IEA International Workshop on Technologies to Reduce Greenhouse Gas Emissions: Engineering–Economic Analyses of Conserved Energy and Carbon, Washington D.C., 22pp., 1999.
- 8) Ruth, M., S. Bernow, G. Boyd, R. N. Elliot, J. M. Roop, Analytical Approaches to Measuring the Potential for Carbon Emission Reductions in the Industrial Sectors of the United States and Canada. The IEA International Workshop on Technologies to Reduce Greenhouse Gas Emissions: Engineering–Economic Analyses of Conserved Energy and Carbon, Washington D.C., 20pp., 1999.
- 9) Koomey, J. G., R. E. Brown, R. C. Richey, F. X. Johnson, A. H. Sanstad, L. Shown, Residential Sector End-Use Forecasting with ERI-REEPS2.1: Summary Input Assumptions and Results, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, 45pp.,



1995.

- 10) Ricci, A., MURE: Simulating Energy Efficiency Policies in the Italian Building Sector. The IEA International Workshop on Technologies to Reduce Greenhouse Gas Emissions: Engineering-Economic Analyses of Conserved Energy and Carbon, Washington D.C., 24pp., 1999.
  - 11) Fishbone, L. G., H. Abilock, MARKAL, a linear-programming model for energy systems analysis, technical description of the BNL version. *Energy Research*, No.5, p.353-375., 1981.
  - 12) Lee, J. C., E. J. Linky, MARKAL-MACRO -An Integrated Approach for Evaluating Clean Development Mechanism Projects: The Case of Taiwan. The IEA International Workshop on Technologies to Reduce Greenhouse Gas Emissions: Engineering-Economic Analyses of Conserved Energy and Carbon, Washington D.C., 12pp., 1999.
  - 13) Gielen D., T. Kram, H. Brezet, Integrated Energy and Materials Scenarios for Greenhouse Gas Emission Mitigation. The IEA International Workshop on Technologies to Reduce Greenhouse Gas Emissions: Engineering-Economic Analyses of Conserved Energy and Carbon, Washington D.C., 14pp., 1999.
  - 14) De Beer J. G., M. T. van Wees, E. Worrell, K. Blok, ICARUS-3 -The Potential of Energy Efficiency Improvement in the Netherlands up to 2000 and 2015. Utrecht University, Utrecht, 230pp., 1994.
  - 15) Energy Information Administration, Impacts of the Kyoto Protocol on U.S. Energy Markets and Economic Activity. U.S. Department of Energy, Washington D.C. 227pp., 1998.
  - 16) Koomey, J. G., R. C. Richey, S. Laitner, R. J. Markel, C. Marnay, Technology and Greenhouse Gas Emissions: An Integrated Scenario Analysis Using the LBNL-NEMS Model. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, 59pp., 1998.
  - 17) AIM Project Team, Asian-Pacific Integrated Model (AIM). National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, 83pp., 1997.
  - 18) OECD/IEA, Background Paper for the Workshop on Methods for Producing Greenhouse Gas Emission Projections and Estimating of the Effects of Measures, Paris, 40pp., 1997.
-

- 19) Government of Austria, The Second National Communication of Austria , 40pp., 1997.
  - 20) Government of Canada, The Second National Communication of Canada , 42pp., 1997.
  - 21) Government of Finland, Finland's Second Report under the Framework Convention on Climate Change, 80pp., 1997.
  - 22) Government of Germany, Second Report of the Government of Federal Republic of Germany Pursuant to the United Nations Framework Convention on Climate Change, 46pp., 1997.
  - 23) Government of Netherlands, Second Netherlands' National Communication on Climate Change Policies, 148pp., 1997.
  - 24) Government of Norway, Norway's Second National Communication under the Framework Convention on Climate Change, 74pp., 1997.
  - 25) Government of Sweden, Sweden's Second National Communication on Climate Change under the United Nations Framework Convention on Climate Change, 195pp., 1997.
  - 26) Government of Switzerland, Second National Communication of Switzerland, 122pp., 1997.
  - 27) Government of the United Kingdoms, United Kingdom's Second Report under the Framework Convention on Climate Change, 76pp., 1997.
  - 28) Government of the United States of America, Climate Action Report, 1997 Submission of the United State of America under the United Nations Framework Convention on Climate Change, 256pp., 1997
  - 29) 環境庁, 通商産業省, 地球温暖化対策関係審議会合同会議資料. 143pp., 1997.
  - 30) UNFCCC, Report on the in-depth review of second national communication of Austria, 26pp., 1999.
  - 31) UNFCCC, Report on the in-depth review of second national communication of Finland, 25pp., 1999.
  - 32) UNFCCC, Report on the in-depth review of second national communication of Germany, 25pp., 1999.
  - 33) UNFCCC, Report on the in-depth review of second national communication of Sweden, 24pp., 1999.
  - 34) UNFCCC, Report on the in-depth review of second national communication of Switzerland, 25pp., 1999.
-

- 35) UNFCCC, Report on the in-depth review of second national communication of the United State of America, 27pp., 1999.
- 36) Interlaboratory Working Group on Energy-Efficient and Low-Carbon Technologies, Scenarios of US Carbon Reductions. US DOE, 224pp., 1997.
- 37) 竹内敬二, 地球温暖化の政治学. 朝日新聞社, 東京, 271pp., 1998.
- 38) IPCC 第3作業部会編, 天野明弘・西岡秀三監訳, 地球温暖化の経済・政策学. 中央法規出版, 東京, 420pp., 1997.
- 39) van Asselt, M. B. A., Rijkens-Klomp, N.: A look in the mirror: reflection on participation in Integrated Assessment from a methodological perspective, *Global Environmental Change* 12, p. 167- 184, 2002.
- 40) Schipper, L., and Haas R., The political relevance of energy and CO<sub>2</sub> indicators – An Introduction, *Energy Policy*, Vol.25, p. 639-649., 1997.
- 41) Phylipsen, G. J. M., Blok, K., and Worrell, E., *Handbook on International Comparisons of Energy Efficiency in the Manufacturing Industry*, Utrecht University, 1998.
- 42) Schipper, L., and Meyers, S., *Energy Efficiency and Human Activity- Past Trends, Future Prospects-*, Cambridge University Press., 1992.
- 43) Schipper, L., Ting, M., Khrushch, M., and Golove, W., The evolution of carbon dioxide emissions from energy use in industrialized countries: an end-use analysis, *Energy Policy*, Vol. 25, p. 651-672., 1997.
- 44) Ramesohl, S., Opening the Black Box – What can be learned from Socio-Economic Research for Energy Policy Analyses?. The IEA International Workshop on Technologies to Reduce Greenhouse Gas Emissions: Engineering-Economic Analyses of Conserved Energy and Carbon, Washington D.C., 23pp., 1999.
- 45) Tseng, P., J. Lee, S. Kypreos, L. Barretto, Technology Learning and the Role of Renewable Energy in Reducing Carbon Emission. The IEA International Workshop on Technologies to Reduce Greenhouse Gas Emissions: Engineering-Economic Analyses of Conserved Energy and Carbon, Washington D.C., 19pp., 1999.
- 46) European Commission, *Socio-Economic Projects in Energy and Environment*, 71pp., 2001.

## 第2章 エンドユースモデルを用いたわが国の地球温暖化対策別の効果推計

1997年12月に地球温暖化防止京都会議において京都議定書が採択され、その発効が迫っているなか、地球温暖化対策は議論から実行の段階に入ってきた。事実、2002年には「地球温暖化対策の推進に関する法律」の改正や「地球温暖化対策推進大綱」の改訂等の制度強化をはじめとして、民間企業においても自主行動計画の策定・フォローアップが進みつつある<sup>1)</sup>。

しかしながら、2008～2012年に基準年比で-6%というわが国の排出削減目標をいかに全体として合理的かつ効率的に達成するかについては、京都会議に向けたわが国の削減余地を巡る議論や地球温暖化対策推進大綱の改訂での議論では必ずしも十分に行われていないのが現実である。京都議定書の採択の地であるわが国が、先進国のなかで率先して効果的取組みを進め途上国に対しても範を示すためには、排出量増減の要因を的確に把握し、削減効果の高い対策技術等の抽出し、それらを重点的に実施促進することが不可欠である。

そこで本章では、エネルギーエンドユースモデルに分類される AIM エンドユースモデルを用いてわが国の近未来の二酸化炭素(以下、CO<sub>2</sub>)の排出量を推計し、つぎに、この AIM エンドユースモデルによる推計を含むわが国における CO<sub>2</sub> 排出量推計を巡る諸議論を整理分析し、よりの確でかつ透明性の高い地球温暖化対策形成のための課題を抽出する。さいごに、ここで抽出された重要な課題の解決を目的に、過去および将来の CO<sub>2</sub> 排出推計量をマクロ指標、個別対策技術等により分析評価する。

### 2.1 近未来におけるわが国の二酸化炭素排出量推計

#### 2.1.1 モデルの基本的構造と詳細

本章では近未来の CO<sub>2</sub> 排出量推計を、AIM エンドユースモデル<sup>2),3)</sup>を用いて行った。このモデルは、国立環境研究所・京都大学が地球温暖化統合評価モデルとして作成した AIM モデルの一部を構成するものである。

本モデルは、図 2-1 に示すとおりエネルギー消費技術を詳細に記述し、エネルギー消費者の機器選択行動を市場メカニズムを通じて追跡するボトムアップ型の最適化モデルである。その特徴は、設備・機器の新規導入または更新に際し、購入費用と運転費用の合計が最少化するよう消費者が選択する点にある。本モデルは選択された技術の効率と使用燃料等から図 2-2 のとおり CO<sub>2</sub> 排出量を計算する。以下にモデルの詳細を記述する。

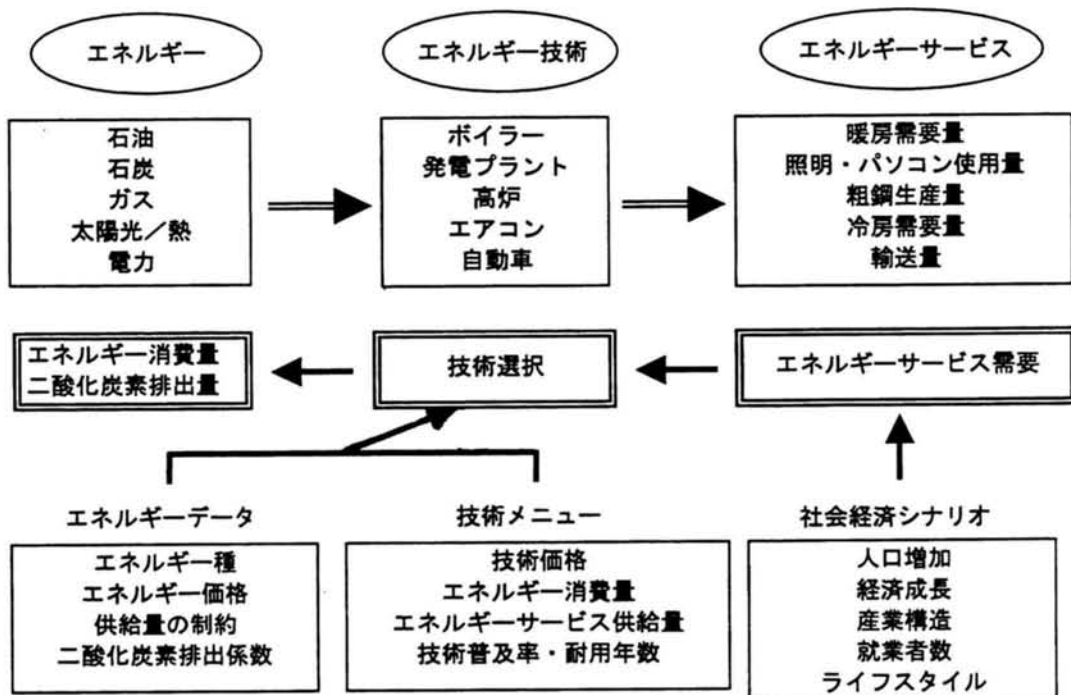


図 2-1 AIM エンドユースモデルの構成

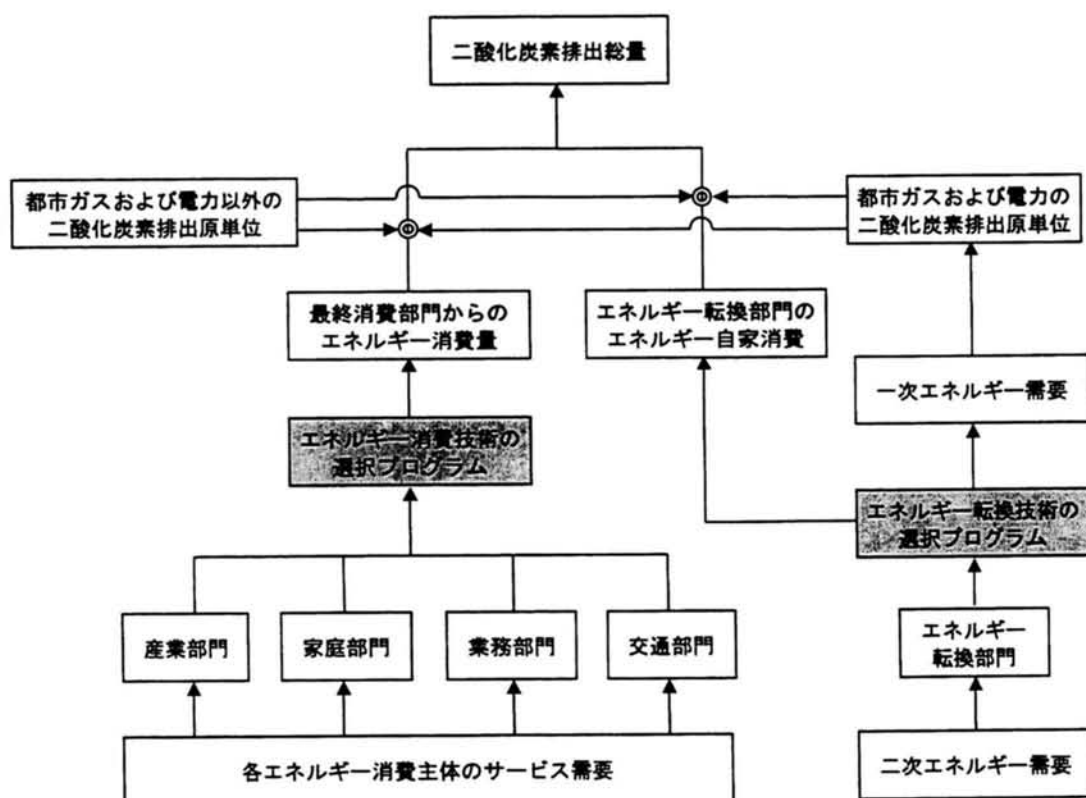


図 2-2 二酸化炭素排出量の算定フロー

### 2.1.1.1 エネルギー消費機器・技術の選択基準

エンドユースモデルでは、各エネルギー消費主体が必要とするエネルギーサービスを、あらかじめ与えられた技術を組み合わせることによって充足させる。このときの機器選択は、エネルギー供給などの制約条件下において、その技術使用に要する費用（初期費用、運転費用の合計）がもっとも小さい組み合わせを考える。その際、技術ストックの履歴などが問題となるが、本モデルのなかではそれらを明示的に取り扱っている。

#### 1) コーホートの入れ替え基準

AIM エンドユースモデルで対象とするシステムでは、外部からのエネルギー投入をもとに、エネルギーサービスに転換する機器群が作動し、外生的に定めた量以上のエネルギーサービスを産出する。その際、機器群はシステムへの参入の時期によってコーホート（ビンテージ）に分けられ、耐用期間が終わったものは退役する。技術選択は、時間に沿って区分された期ごとに行い、各期の機器ストック量、改良量、退役量および新規参入量などを考慮し、その期のサービス需要量を満たすことができるように調整が行われる。本モデルでは、サービス機器、技術改良などに関し以下の前提を設けている。

- ①各サービス機器は、1種類以上のエネルギーを消費し、1種類以上のサービスを産出するものである。
- ②サービス機器量はその技術を実現している機器の産出サービス量によって計測する。
- ③各技術には改良箇所の付加程度により、1, 2, 3, ... なる改良段階を表す数値を割り振り、これを技術段階と称する。技術段階を表す数値は、導入年が新しいものほど大きくなる。
- ④技術導入年および技術段階別にサービス効率、エネルギー効率、初期費用が定まっている。技術種および導入期別の機器の1群をコーホートと称する。各コーホートには、属性としてサービス量供給能力、エネルギー消費特性、余命（機器寿命－使用期間）が付与している。

サービス需要量の変化、機器の退役および技術改良は、コーホートの入れ替えを発生させる。その際、3種類のコーホート変化が問題となる。第一は、機器の余命が0になったことによる退役および需要サービス増大に伴う新規機器の導入である。第二は、既参入の機器の改良に伴う変化である。第三は、コーホートの余命が残っているのにもかかわらず、経済的要因から新規機器によって既参入のコーホートが代替される場合である。

第一の新規機器の導入にあたっては、年価に換算した費用を計上する。第二の既参入機器の改良には、改良前の段階と改良後の段階の固定費用差および改良後の維持管理費用を年価に換算したものを計上する。第三の場合の費用は、第一の場合と同じである。この場合は、代替される既参入コーホートの未償却費用は考慮せず埋没費用とみなす。

図 2-3 に費用の回収年数を 3 年とした場合の技術選択の考え方を示す。

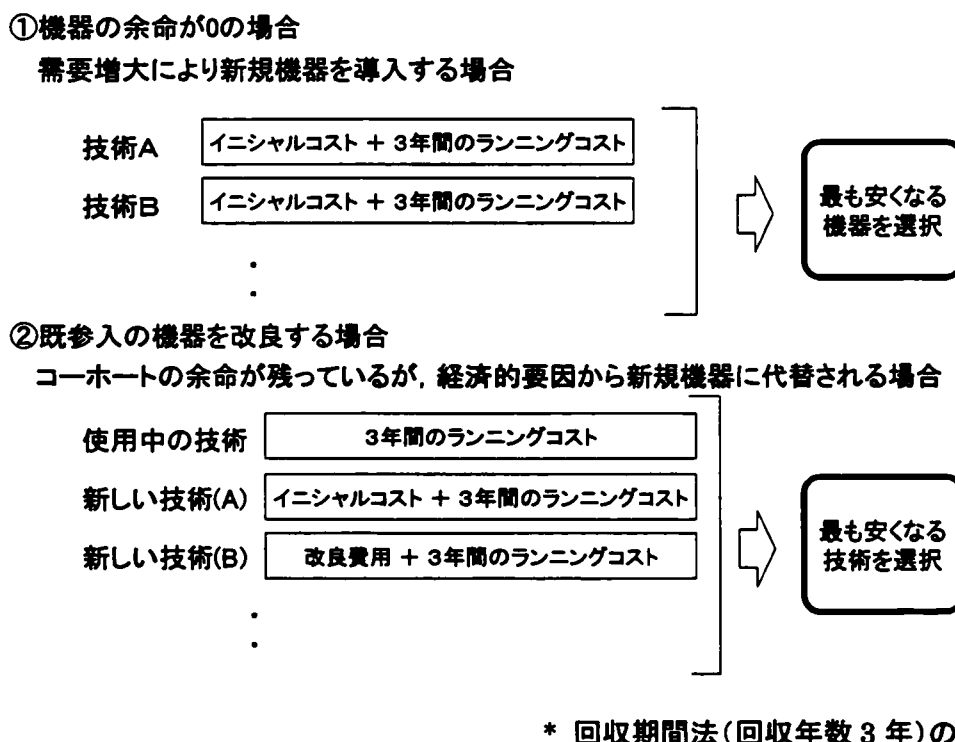


図 2-3 AIM エンドユースモデルにおける技術選択

## 2) 費用の評価方法

機器選択において評価の対象となる諸費用とは、エネルギーサービス機器（エネルギー消費技術）の固定費用、エネルギー費用など維持管理に係わる費用および排出賦課金などのガス排出に係わる費用を合算したものである。本モデルでは、サービス機器費用の評価方法として以下の二つの方法を採用する。一つは、購入から償却までの費用を、時間的割引を考え年価に換算した ALC(Annualized Life-cycle Cost)法であり、もうひとつは、オプション間の初期投資費用増を維持管理費用減で回収する期間長によって評価する回収期間法（Pay-back Time Method, PTM）である。後者の場合、資本利子率による調整は行っていない。

機器  $i$  に係る諸費用を  $C_i$  で表すと、ALC 法による諸費用の年価は、新規参入機器の場合、以下の式で算出される。

$$C_{i(ALC)} = P_i \cdot [P \rightarrow M]_{L_i}^{\theta} + \sum_{k=1}^N E_{i,k} \cdot p_k \quad (2-1)$$

ここに、 $P_i$  は機器  $i$  の導入時の現価であり、エネルギー費用以外の諸費用はすべて本項に含めるものとする。 $[P \rightarrow M]_{L_i}^{\theta}$  は資本回収係数、 $E_{i,k}$  は機器  $i$  の 1 単位の操作で必要とする第  $k$  種のエネルギー消費量、 $N$  は使用エネルギー種の数、 $p_k$  は第  $k$  種のエネルギー価格を表す。資本回収係数は、次式によって算定される。

$$[P \rightarrow M]_{L_i}^{\theta} = \frac{\theta(1+\theta)^{L_i}}{(1+\theta)^{L_i} - 1} \quad (2-2)$$

ここに、 $\theta$  は資本利子率、 $L_i$  は機器の余命を表す。

一方、回収期間法 (PTM) に基づく評価の場合は、次式を使用する。

$$C_{i(PTM)} = \frac{P_i}{\min(T, L_i)} + \sum_{k=1}^N E_{i,k} \cdot p_k \quad (2-3)$$

ここに、 $T$  は基準回収年長である。

#### 2.1.1.2 線形計画法によるモデルの定式化

##### 1) モデルの構成要素

本モデルでは、エネルギー消費技術を中心にして各技術に投入されるエネルギーや各技術の産出するサービスをシステム全体で一体化して扱う。このエネルギーサービスシステムを構成する要素としては、最終サービス、外生エネルギー、サービス機器（エネルギー消費技術）および中間サービス／内生エネルギーの 4 種類がある。

最終サービスとは、システム内のサービス機器群によってシステム外に提供されるサービスのことをいう。家庭、業務部門における冷暖房や照明などのサービス、紙・パルプ業における



洋紙、板紙など製品生産がその例である。最終サービス需要量の将来推計値は、経済成長率や将来人口推計等の社会経済シナリオに基づいて外生的に与える。

外生エネルギーとは、サービス機器群の作動に必要となりその全需要量をシステムの外から持ち込むエネルギーのことをいう。一部あるいは全量をシステム内で生成するエネルギー種はこれに含めず、後述の内生エネルギー種に分類する。ただし、実質的にはエネルギーではないが、サービス機器に投入されるときに温室効果ガスを発生するような関連財（たとえば、鉄鋼業およびセメント工業にて使用される石灰石）がある場合、これも便宜上、外生エネルギーとして取り扱っている。

サービス機器とは、2.1.1.1に記したように1種以上のエネルギー等を消費して1種以上のサービスを提供するものである。サービス機器には、サービス機器種、技術段階、寿命、初期費用、1ストック量あたりのエネルギー消費量およびサービス提供量が基本データとして付与されている。ただし、本モデルを用いて複雑なエネルギーシステムを取り扱う場合、実際にエネルギーからサービスへの転換を行わないにもかかわらず、システムに課されている種々の制約条件を取り扱う便宜上、仮想のサービス機器を配置するほうが都合の良い場合がある。こうした仮想機器をフロー制御端と称する。

内生エネルギー／中間サービス種とは、システム内のサービス機器の入力および出力となるエネルギーあるいはサービスの種類のことである。たとえば、システム内で生成・使用される自家発電による電力やコージェネレーション電力、産業部門における中間生成品（鉄鋼業における粗鋼や銑鉄）などがこれに該当する。

## 2) サービス機器の特性値

サービス機器は、システムへの参入時期によりコーホートに分けられ、各コーホートは技術係数と費用係数で特徴づけられる。技術係数には、 $A_{ji}$ 、 $E_{ik}$  および  $L_i$  があり、それぞれ、第  $i$  コーホート 1 単位が提供する第  $j$  サービスの量、第  $i$  コーホート 1 単位が必要とする第  $k$  エネルギーの量および第  $i$  コーホートの余命を表す。

また、費用係数とは、 $P_i$  で表し、第  $i$  コーホート 1 単位あたりのコーホート導入時の現価を表す。

## 3) システム変数

サービス機器の導入・決定にあたって制御できるシステム変数には以下のものがある。全部で  $lp\_var$  種とし、各コーホートごとに[ ]で示される変数番号がプログラム中にて割りあてら

れる。 $lp\_var$  は下の  $n4v$  と同値である。一方、コーホートの数は全部で  $isd$  とし、下の  $n3v$  と同値である。

#### ①サービス機器ストック量

前期までのサービス機器導入分で、今期は改善せずに使用する機器量 $[1,n1v]$ 。

#### ②改善機器量

前期に使用していたサービス機器のうち、今期は改良して使用する機器量 $[n1v+1,n2v]$ 。

#### ③新規の機器導入量

今期に新規に導入するサービス機器量 $[n2v+1,n3v]$ 。

#### ④外部から購入する内生エネルギー量

外部からの購入量を含めた内生エネルギー種の全生成量を内生エネルギー量と称し、そのうち外部から購入する量をシステム変数とする $[n3v+1,n4v]$ 。

### 4) 制約条件式

#### ①現有機器量(前期以前の導入コーホート)に関する条件

前年での対応するコーホートのストック量  $x_{0i}$  が、今期の未改良量  $x_i$  および改良量  $x_{i'}$  の和を下回らないことから、

$$x_i + x_{i'} \leq x_{0i}, \quad i = 1 \sim n1v \quad (2-4)$$

なお、 $i'$  は、コーホート  $i$  から改良されて生成されるコーホートの番号を表す。

#### ②改善可能量に関する条件

サービス機器  $s$  の今期の改善可能量を  $X_{rf,s}$  とすると、

$$\sum_{i=n1v+1}^{n2v} \delta_{sd,s,i} \cdot x_i \leq X_{rf,s} \quad (2-5)$$

ここに、 $\delta_{sd,s,i}$  は第  $i$  のコーホートの機器種が  $s$  の時に 1、それ以外の時には 0 となる関数である。 $s$  は  $1 \sim nsd$  の範囲をとる。ここで、 $nsd$  はサービス機器数である。

#### ③新規参入可能量に関する条件

コーホート  $i$  の今期の参入可能量を  $X_{rc,i}$  とすると,

$$x_i \leq X_{rc,i}, \quad i = n2v+1 \sim n3v \quad (2-6)$$

あるいは, 機器  $s$  の総ストック量に上限が定められているときには, 機器  $s$  の許容最大ストック量を  $X_{rc,s}$  として,

$$\sum_{i=1}^{n3v} \delta_{sd,s,i} \cdot x_i \leq X_{rc,s} \quad (2-7)$$

とする。また, 機器  $s$  のサービス種  $j$  へのサービス分担比率に上限が定められているときには, その上限率を  $U_{s,j}$  とし,

$$\sum_{i=1}^{n3v} \delta_{sd,s,i} \cdot A_{j,i} \cdot x_i \leq U_{s,j} \sum_{i=1}^{n3v} A_{j,i} \cdot x_i \quad (2-8)$$

なる条件を課す。 $s$  は  $1 \sim nsd$  の範囲をとる。

#### ④需要サービス量を満足できる条件

各サービス機器からのサービス提供量は, 需要サービス量  $S_j$  を満足していなければならない。

$$\sum_{i=1}^{n3v} A_{j,i} \cdot x_i \leq S_j, \quad j = 1 \sim nsv \quad (2-9)$$

ここに,  $S_j$  は第  $j$  種の需要サービス量,  $nsv$  は最終サービス種と中間サービス種を合わせた数である。 $j$  が最終サービス種を示すとき,  $S_j$  は最終サービス量となる。 $j$  が中間サービス種を示すとき,  $S_j$  は対応する中間サービス量より外部からの内生エネルギー量, すなわち外部購入エネルギー量  $x_l$  を控除したものであるから,

$$S_l = -x_l + \sum_{i=1}^{n3v} x_i \cdot E_{i,l}, \quad l = n3v+1 \sim n4v \quad (2-10)$$

となる。ここに  $l$  は中間サービス種  $j$  に対応する内生エネルギー番号である。 $E_{il}$  は、第  $i$  コーホート 1 単位が消費する第  $l$  種のエネルギー消費量を表す。

#### ⑤エネルギーの制約条件

第  $k$  種のエネルギーの供給量に制約がある場合は、制約条件を有する第  $k$  種のエネルギー番号を  $k'$ 、その最大供給量を  $Q_{k'}$  とし、

$$\sum_{i=1}^{n3v} x_i \cdot E_{i,k} \leq Q_{k'}, \quad k' = 1 \sim nengcst \quad (2-11)$$

となる。内生エネルギー種の場合には、

$$x_k \leq Q_{k'}, \quad k' = 1 \sim nengcst \quad (2-12)$$

ここに  $nengcst$  はエネルギーの制約条件式の数である。

#### 5) 目的関数

以上の制約条件下で、次式の線形和を各期について最小化するサービス機器の組み合わせを求める。

$$\sum_{i=1}^{n3v} C_i \cdot x_i \rightarrow \min \quad (2-13)$$

コスト係数  $C_i$  は、ALC 法の場合、各コーホートに付与する技術係数、費用係数等を用いて、コーホートごとに以下のように表される。

$$c_i = \begin{cases} (1-\varepsilon \cdot L_i) \cdot \sum_{k=1}^N E_{i,k} \cdot p_k, & i = 1 \sim n1v \\ (1-\varepsilon \cdot L_i) \cdot \left\{ \Delta P_i \cdot [P \rightarrow M]_{L_i} + \sum_{k=1}^N E_{i,k} \cdot p_k \right\}, & i = n1v+1 \sim n2v \\ (1-\varepsilon \cdot L_i) \cdot \left\{ P_i \cdot [P \rightarrow M]_{L_i} + \sum_{k=1}^N E_{i,k} \cdot p_k \right\}, & i = n2v+1 \sim n3v \\ p_k, & i = n3v+1 \sim n4v \end{cases} \quad (2-14)$$

ここに、 $\varepsilon$  は、微小な正数である。これに、コーホートの余命  $L_i$  を乗ずることにより、同一コストのときには余命が短いものから機器の置き換えが行われるような効果をもたらす。 $N$  はエネルギー種の数であり、 $p_k$  は第  $k$  エネルギーの価格である。また  $P_i$  は第  $i$  コーホートの導入時の現価であり、 $\Delta P_i$  とは第  $i$  コーホートの改良費用である。内生エネルギーの外部からの購入分に関するコスト係数  $p_k$  とは、変数番号  $i$  に対応するエネルギー種（番号  $k$ ）の価格である。回収期間法による評価では、資本回収係数  $[P \rightarrow M]_{L_i}$  の代わりに  $1/\min(T, L_i)$  を使用する。

### 2.1.2 想定ケースおよび前提条件

本章での計算は、1990 年を基準年とし 2020 年まで行った。新技術等の導入程度に応じ、現行のエネルギー消費機器の使用シェアを将来にわたり固定したケース（以下、「参照ケース」とする）、経済合理的な観点からエネルギーサービス需要を満たすような技術を組み合わせるとともに CO<sub>2</sub> 排出削減のための施策（排出量 1 トンあたり 3 万円程度の税賦課）を講じる「対策ケース」の 2 種類のケースを想定し推計を行った<sup>4)</sup>。

本推計において使用した前提条件を表 2-1 に示す。松岡ら<sup>5)</sup>と同様に政府の社会・経済に関する最新の見通しに準拠したが、主な変更点は将来の経済成長率の下方修正（2001～2010 年で 2.3% から 1.9% に修正）および旅客輸送量見込みの上方修正（約 4% の上方修正）である。具体的には次のとおり設定した。

経済成長率は、2000 年までについては現行の政府経済計画（1995 年 12 月閣議決定）に従い、2001 年以降は経済企画庁見通し<sup>6)</sup>に準拠した。産業部門における業種別活動量については、過去の実績から付加価値額の国内総生産弾性値を業種ごとに求め、上記経済成長の見込みから将来の業種別実質国内総生産を推計した。人口は、厚生省国立社会保障・人口問題研究所の中位推計<sup>7)</sup>を用い、世帯数は第 5 次全国総合開発計画策定時の推計値を用いた。業務用床面積は、

実績より第3次産業就業者一人あたりの床面積と当該分野の実質国内総生産弾性値を求め、前述した業種別実質国内総生産等の見込みをもとに推計した。輸送活動に関しては、第5次全国総合開発計画策定時の上記経済成長に応じた輸送量および機関分担率の推計値を用いた。原油価格は長期エネルギー需給見通しの名目原油 CIF 価格をもとに算定した。ここに将来の為替レートは1ドル110円で一定とした。また、表2-1には2010年にCO<sub>2</sub>排出量を1990年レベルで安定化させるとする政府見通し<sup>8)</sup>（以下、「政府見通し」という。）に使用された前提条件も付している。

各部門のモデル化と技術諸元の詳細を附録Iに取りまとめた。モデルに内包する技術メニューには、近年の技術開発・実用化の動向を勘案し、たとえば民生業務部門では吸収式やヒートポンプ方式の冷暖房技術を、また、交通部門ではハイブリッド小型乗用車を含めた。

表 2-1 モデルの主要な前提条件

前提条件	単位	1990 年	2000 年	2010 年	2020 年
経済成長率	%/年	3.0%(1995-2000), 1.9%(2001-2010), 1.4%(2011-2020) [約 2%(2001-2010)]			
人口	千人	123,611	126,892	127,623 [128,000]	124,133
世帯数	千世帯	40,670	46,617	49,514 [48,300]	49,565
業務床面積	百万 m <sup>2</sup>	1,286	1,603	1,851 [ - ]	2,032
旅客輸送量	10 億人・km	1,298	1,561	1,821 [1,770]	2,035
貨物輸送量	10 億 t・km	547	582	637 [660]	680
原油価格	\$/バレル	22.76	20	30 [30]	45

(注) 2010 年の[ ]内の数値は、政府見通しの前提条件を示す。なお、この見通しでは業務用床面積の設定は示されていない。

### 2.1.3 推計結果

表 2-2 は、本モデルによって推計したケース別・部門別のわが国の CO<sub>2</sub> 排出量であり、結果を要約すると次のとおりである。

- 1) 参照ケースでは 2010 年に 1990 年比で約 24%、2020 年にて約 25%CO<sub>2</sub> 排出量が増加する。とくに交通部門での増加が著しく、2020 年では 90 年比で約 62%増大する。
- 2) 対策ケースでは 2010 年に 1990 年比で約 5%、2020 年に約 15%CO<sub>2</sub> 排出量が削減される。家庭部門、産業部門およびエネルギー転換部門では 2020 年時点で 90 年比 20%～30%の削減となっている。

表 2-2 部門別・ケース別の二酸化炭素排出量推計結果 単位：MtC/年

部門	年度	参照ケース		対策ケース	
		排出量	90 年比増減(%)	排出量	90 年比増減(%)
産業	1990	137.8		137.8	
	1995	137.8	0.0	137.8	0.0
	2000	142.9	3.8	133.1	- 3.3
	2010	147.0	6.7	118.7	-13.8
	2020	146.8	6.6	108.2	-21.4
家庭	1990	37.7		37.7	
	1995	43.5	14.9	43.5	14.9
	2000	49.2	29.9	41.8	10.5
	2010	55.8	47.5	32.9	-13.1
	2020	52.2	38.0	26.9	-29.0
業務	1990	34.0		34.0	
	1995	39.2	14.8	39.2	14.8
	2000	42.4	24.2	39.1	13.6
	2010	46.6	36.4	35.3	2.7
	2020	45.1	32.0	31.2	-9.1
交通	1990	58.3		58.3	
	1995	67.8	16.6	67.8	16.6
	2000	75.3	29.5	73.5	26.4
	2010	85.7	47.3	69.5	19.5
	2020	94.4	62.2	62.1	6.8
エネルギー 転換	1990	16.2		16.2	
	1995	18.2	12.0	18.2	12.0
	2000	19.7	21.4	17.1	5.5
	2010	21.5	32.4	13.5	-17.0
	2020	21.4	31.7	11.4	-29.6
合計	1990	302.2		302.2	
	1995	327.2	7.9	327.2	7.9
	2000	350.4	15.5	325.0	7.2
	2010	376.6	24.2	289.0	- 4.7
	2020	378.4	24.8	257.5	-15.1

(注) 需要部門の数値は、電力分配分後の排出量である。合計には、工業プロセスにおける化学反応に伴う排出量等を含むが、廃棄物焼却に伴うものは含んでいない。

## 2.2 わが国でのモデルを活用した地球温暖化対策に係る合意形成

気候変動枠組条約は先進締約国に対し、温室効果ガスの排出・吸収目録、政策措置、排出・吸収量の将来見通し等を含む国別報告書を定期的に通報することを義務づけている。その第 2 回目の通報は 1997 年 4 月までに提出するよう求められていたことから、国際交渉上特別の意味をもっていた。それは、各国の第 2 回通報に含まれる温室効果ガスの排出・吸収量の将来見通しは、地球温暖化防止京都会議に向けた削減目標の交渉の基礎資料となり得るからであった。手続き上は、通報と議定書に盛り込むべき削減目標の提案とは別のものであるが、わが国においては第 2 回通報に掲げる将来見通しに関する政府部内での調整が難航し、これが決着しないまま引き続き同年夏から秋にかけて削減目標の提案のための議論に入った。表 2-3 に 2.1 で述べた AIM エンドユースモデルによる推計結果を含むさまざまな手法による推計結果の比較を

示す<sup>9)</sup>。

2.2 では、わが国の 2010 年における温室効果ガスの削減可能性を巡る政府部内での検討について、その前提条件、推計手法等の観点から整理分析する。

表2-3 2010年の二酸化炭素排出量(AIM推計と他推計の比較)

シナリオ等	対1990年比			備考
	CO <sub>2</sub>	TPE	GDP	
AIM(松岡・森田, 1997年2月)				
技術固定	23~26%	36~38%	↑53~56%	産構審GDP推計, 97年人口推計, 3万円炭素税など。
市場選択	6~8%	22~24%		
対策	-6~-8%	15~17%		
AIM(環境庁, 1997年9月)				
標準ケース	20%	30%	↑52%	経済審GDP推計, 97年人口推計, 5全総交通量など
対策ケース	-7%	10%		
AIM(WWF, 1997年9月)	-13~-15%		53~56%	前提はAIM(9702)と同じ, ハイブリッド車などの積極的導入
超長期エネルギー需給の展望(通産省, 1996年12月)				
現行施策推進	22%	39%	↑56%	
新エネ/省エネ強化	9%	31%		
通産省, 1997年9月				
標準ケース	21%			
対策ケース	0.6%			
我が国の超長期エネルギー需給に関するモデル分析(日本エネルギー経済研究所, 1996年10月)				
基準ケース	23%	32%	55%	
省エネなどのケース	9~23%	21~32%		
中期経済社会・エネルギー展望'95(電力中央研究所, 1995年12月)				
基準ケース	11%	25%		
CASA(1997年10月)				
現状推移ケース	25%			
技術対策ケース	-8%			
1995年活動水準維持	-21%			
1990年活動水準抑制	-33%			

## 2.2.1 社会経済フレーム

人口、経済成長率、産業構造、将来交通量等は、温室効果ガスの将来排出量算定にあたって必要な社会経済上の基本的条件であり、本来なら総合的な国家長期計画において政府公式見込みが掲げられているはずである。しかしながら、わが国におけるこれらのフレームは、2010年までは決定されていない、関係省庁が複数ありそれぞれが異なる計画値を作成している、公表されていない、などの状況にあり、温室効果ガスの推計のために新たに関係省庁でその作成や調整を開始しなければならないということがしばしば起きる。

一方、時期を同じくして、財政構造改革会議における審議のための経済成長率、国家財政等の長期シミュレーション、人口問題審議会における少子化傾向等を受けた人口推計の見直し作業、第5次全国総合開発計画策定のための各種フレームのシミュレーションとこれを受けた道



路整備 5 ケ年計画等の策定、産業構造審議会における産業構造の見直し等が関係省庁において進められていた。したがって、当時は新たな推計作業を始めることはせず、これらの審議会等での各種フレームの推計結果をいかに整合的に温室効果ガス推計モデルに取り込むかがフレーム設定の論点であった。

結果として、気候変動枠組条約に基づく通報や京都会議に向けた削減目標提案といった場において、わが国の社会経済の将来フレームが政府レベルで正式に統合されたが、このことは地球温暖化問題があらゆる社会経済活動と密接に関係していることを象徴的に表しているものである。また今後、中央政府や自治体の環境担当部局がこのような作業に関与することを通じて、社会経済フレームの策定にまで環境保全の観点から関与する契機となり得るものとする。

## 2.2.2 推計方法

従来、温室効果ガス排出量の推計およびこれを踏まえた政策形成に際して、環境サイドから独自の手法を用いて案を提示し、事業サイドと調整したことは皆無に近かった。たとえば、条約に基づく第 1 回の通報にあたっては、エネルギー安全保障の観点から作成される「長期エネルギー需給見通し」（以下、「需給見通し」という。）をベースに CO<sub>2</sub> 排出量を算定し、併せて主に省エネルギー等の対策効果を示した。

需給見通しは、日本エネルギー経済研究所のエネルギー経済モデルにより、将来の人口、経済成長率等からエネルギー需要を部門別に予測したうえで、これを満たすために必要な供給部門のエネルギー構成を安全保障等の観点から設定することにより作成される（標準ケース）。対策ケースでは、専門家、事業者等からのヒアリングを踏まえつつ各需要部門での省エネルギー量を計算し、抑制された総エネルギー量に見合う供給構成を改めて構成する。出力は原油換算でのエネルギー量で表されるが、地球温暖化対策の要請が高まりだした頃よりエネルギー使用量を CO<sub>2</sub> 排出量に換算し併記するようになった。また、ここ数回の需給見通しでは、省エネルギー対策やエネルギー源の構成を検討する際、エネルギーの安全保障に加え、地球温暖化防止を制約因子（国民一人あたりで安定化／総量で安定化）に加えている。

一方、2.2 の冒頭に述べた第 2 回通報および削減目標の提案に際しては、環境サイドは独自のモデル(AIM エンドユースモデル)により対案を提示した。ここでの標準ケースは、技術効率・シェアを一定とし社会経済の活動量を伸ばした場合としており、日本エネルギー経済研究所の経済モデルが過去の経済成長とエネルギー需要の間の弾性値から推計した標準ケースと性格を異にすることに留意を要する。

また、AIM エンドユースモデルの対策ケースは、炭素税等の経済的措置が講じられた場合であり、需要部門横断的に一定の限界削減費用に達するまで対策技術が導入される。需給見通しでは、専門家の知見や業界の投資予定等を踏まえ対策技術の導入率が分野・部門間で相互の関連なく、一部効果が重なるものであっても別個に設定されるが、AIM エンドユースモデルでは対策技術の導入程度は部門間で公平かつ効率的であるとともに、複数の対策の効果が重複なく整合的に積み上げられる。ただし、エンドユースモデルでは、企業や消費者が設備や商品に関する価格、効率等の情報を熟知し、皆が経済合理的に行動することを前提としており、購入における社会的あるいは文化的特徴は考慮されていないことにも留意が必要である。

このように全く性格の異なるモデル／手法により推計された将来の CO<sub>2</sub> 排出量は、大きく異なることになったが、推計結果の乖離の大きさだけではなく、手法上の違いも調整を難航させた一因である。2つの結果を比較検証する際、部門ごとの削減率を比べるだけではなく、個々の対策技術の削減効果、すなわち技術単体の効率向上と当該技術の普及率を対比させていくことになった。需給見通しでは前述のとおり個々の対策を別個に取り上げてその削減効果を積み上げていることからそのリストアップは容易であるが、AIM エンドユースモデルの場合は部分的には関連しあう約 200 種類の技術を経済合理的に最適化しているため、個々の対策技術の削減効果の抽出は困難である。

たとえば、製鉄プロセスの場合、複数の工程における多数の技術がプロセス一体としてモデルに組み込まれており、高炉炉頂圧発電だけの導入効果を推計するためには、他の条件は同一にしたうえで当該装置の導入の有無による排出量の差を改めて計算する必要がある。

推計手法としては、モデルを用いた方が複雑な製造プロセスの実態を反映できるだけではなく、個々の対策技術の削減効果を重複なく計算できることになるが、わが国の行政機関における理解の得られやすさの観点からみれば、簡易な計算によって個々の対策効果やその全体像が再現できることも重要であり、この点は大規模な最適化計算モデルによる推計結果を用いて政策形成する際に留意すべき極めて重要な課題である。この点については、2.3 において 2.1 でのわが国における近未来の CO<sub>2</sub> 排出量推計結果を用いて、要因分解や対策・技術別の削減効果の詳細分析を試みる。

なお、環境サイドにおいては、モデル計算とは別途に専門家や業界のヒアリング結果をもとに技術評価を行い、需給見通しと同様の方法で個々の対策技術の削減効果を積み上げていく作業が行われたが、その結果は 2010 年での CO<sub>2</sub> 排出量は 1990 年レベルでの安定化が精一杯というものとなった。このような方法による削減効果の推計の傾向としては、過去のトレンドや経験に基づくため控えめの結果が出やすいのではないかと考えられ、たとえば 5 年以内の短期

的な見通し作りには有効である。しかしながら、10～30 年の中長期的な政策形成のための推計には、社会経済の大きな構造変化や効率的な技術を普及させる思い切った新施策が織り込み、その感度を分析できるようなモデルによることが適当である。

### 2.2.3 2つの推計の比較検証における主な論点

環境サイドが AIM エンドユースモデルを用いて行った CO<sub>2</sub>の将来排出量に関する推計とエネルギーサイドの需給見通しに基づくものとの比較検証における主な論点を以下に整理する。

#### 2.2.3.1 活動量の見通し

将来の鉄鋼業の動向（推計の面からは粗鋼生産量）は、わが国の CO<sub>2</sub>排出量を大きく左右する要因であり、比較検証にあたっての大きな論点であった。仮に 2.2.1 に述べたような将来のマクロ経済指標が政府レベルで決定されていても、計画経済社会でない限りは個々の業種の活動量までは公式決定しないことが多い。しかしながら、具体的な排出量の推計のためには、粗鋼生産量、セメント生産量、紙生産量、エチレン生産量等を想定する必要がある、これらは推計にあたっての重要因子である。

当時の比較検証では、エネルギーサイドが業界の見通し（年間 1 億トン生産体制の維持）を用い、環境サイドが公的研究機関の推計（年間約 8,700 万トン生産へ漸減）を用いたが、議論は収斂しなかった。このように予測が長期に及ぶほど活動量に関する唯一の見通しは立てにくいことから、影響度の高い活動因子については幅をもって想定し、感度分析を行うことが重要である。

#### 2.2.3.2 技術単体の効率向上度

交通部門の CO<sub>2</sub>排出量は近年増加基調にあり、この部門における排出抑制は先進国共通の大きな課題である。当時の比較検証においては、自動車の燃費向上の見通しが大きな論点であった。1996 年に夏に M 社が世界に先駆けて燃費が約 3 割向上するガソリン直噴エンジン自動車を実用化し販売を開始したのを契機として、他社も競ってこのタイプの自動車の開発／商品化に着手したことから、この技術が当面の自動車に関する地球温暖化対策の切り札と期待された。

ただ、メーカー間で燃費の向上度やそれを裏付ける試験方法、データの精度等がまちまちで

あったので、エネルギーサイドは安全保障の観点から最も堅めのものを前提に、また、環境サイドは最も効率的なものを普及させる施策を前提に、それぞれの計算を行った。当時は、ガソリン直噴技術が実用化されたばかりでありエンジン専門家の評価も定まったものがなかったため、この調整は収束をみななかった。推計モデルの基本構成要素となる技術の効率等諸元については、専門家によるレビューを受けておくことが望ましい。

### 2.2.3.3 技術の普及率

技術の普及率は、どの程度の促進施策を前提とするかと表裏一体の関係にあり、施策の種類や強度が論点となる。AIM エンドユースモデルのなかでは炭素税（3 万円／炭素 1 トン）が促進施策として導入されている。

一方、エネルギーサイドが前提としたのは、省エネルギー法の強化、企業／業界の投資予定や自主行動計画など一定の目途が立っているものを中心とした。たとえば、2.2.3.2 で取り上げたガソリン直噴エンジン自動車の普及についてみると、前者の対策ケースでは促進施策によって 2010 年には小型自家乗用車の約 8 割に普及するとの計算になるが、後者では消費者の嗜好等各種障壁でそこまでは普及しない（乗用車全体の燃費向上を計算しており、個々の低燃費車の具体的普及率は不明）との見通しに立った。2.1 で述べたとおり、AIM エンドユースモデルでは経済合理的に技術選択されることから、運転経費を含め少しでも安い設備や商品が市場に出ると新規需要および更新分について一気に当該技術の普及が進むという特性があり、この点が現実的でないという批判もある。

しかしながら、炭素税でなく燃費規制によってもこのような普及は起こりうるものであるとともに、現実には最も効率的な装置・商品が市場を駆逐した数々の歴史があることに鑑みれば、このような手法による推計は長期の社会構造の変化や政策転換を前提にすれば妥当である。

なお、わが国における電気事業のように国の長期計画に沿って投資が進められ、必ずしも市場原理が導入されていない分野にあつては、技術選択モデルを利用した将来予測の妥当性は低下するおそれがある。したがって、AIM エンドユースモデルのエネルギー転換部門においては、原則、国の長期計画に沿いつつ炭素分の少ないエネルギー源を優先的に導入するとのロジックを構築した。

このように国の長期計画、業界のヒアリング等に基づいて普及率を設定すべき一部の分野は残ってはいるものの、今後のわが国の経済活動の一層の効率化志向の傾向を踏まえれば、AIM エンドユースモデルの重要な構成要素である経済合理的技術選択ロジックの有効性はますます

高まるものとする。

#### 2.2.3.4 国民のライフスタイル改善の取り込み

近年の CO<sub>2</sub> 排出量の増加が民生・交通部門を中心としたものであることから、将来推計のなかでの国民のライフスタイル（ビジネススタイルを含む）の変化の方向の見込み方や施策による改善効果の推計は極めて重要なポイントである。前述した需給見通しでは、事業者の関係する排出についてはヒアリング等に基づく堅めの推計になりがちであったが、家庭や一般国民のライフスタイル改善はたいへん思い切った前提を置いて多くの削減効果を見込んでいる。

一方、AIM エンドユースモデルは技術中心の構造となっており、明示的にはライフスタイルの改善効果は見込んでいない。自治体の政策支援モデルを開発整備するためには、この分野の効果分析が不可欠であることから、技術の改善分とは別の階層でライフスタイルの改善が推計できるようモデルを改良していく必要がある。

#### 2.2.3.5 対策費用等

地球温暖化対策に要する費用、マクロ経済への影響等を定量化しておくことは、政策判断を行ううえで極めて重要であり、IPCC においても各種削減シナリオが世界経済に及ぼす影響を推計している。今回の削減見通し推計で環境サイドが利用した AIM エンドユースモデルでは、対策ケースにおけるエネルギー機器選択に際し、CO<sub>2</sub> 排出量削減に対する社会的配慮を炭素トンあたり 3 万円（ガソリン 1 リットルあたりで 20 円に相当）の課税で表現している。したがって、2010 年頃の対策費用を単純に計算すれば年間数～10 兆円となる。

しかしながら、炭素税の場合、課税効果によりエネルギー効率の高い機器が選択されることになり、何らの施策も講じられないため短期的視点から効率の悪い機器が積み上がってしまうケースと比べれば、正味の負担増はこれより格段に小さくなる。また、正味の負担増については、石油危機の場合のように負担増加分が産油国へ移転されるわけではなく、国内のクリーンエネルギー産業が成熟していれば効率的な機器の国内需要に還元されることとなり、マクロ経済全体で見れば影響はほとんどないかプラスの影響となることが期待できる。

1970 年代後半にわが国では世界でもっとも厳しい自動車の窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）排出ガス基準の設定が行われ、当該規制の導入に対しては自動車産業が壊滅するとの予測も提示された。しかしながら、結果としてはクリーン自動車の開発が世界に先駆けて進み競争力を増した歴史か

らみても、マクロ経済への影響は少ないとする推察は妥当であると考えている。

なお、別途の研究<sup>10)</sup>により、炭素 1 トンあたり 3 千円の炭素税を課し、これを財源に温暖化対策技術普及のための財政補助を行った場合、炭素 1 トンあたり 3 万円の課税と同等の効果を及ぼすことが推計されており、年間 1 兆円程度の補助金政策を講じることもひとつのオプションである。

一方、需給見通しでは明確な対策費用全体の見積もり・公表は行っていないが、部分的にたとえば、省エネルギーのために鉄鋼業では 2010 年までに約 3 兆円の設備投資を要するなどの数値が掲げられている。また、根拠は明らかではないが、90 年比で安定化以上の対策を講じれば約 250 万人の失業者が出るとの新聞報道もなされた。需給見通しでは、もともと主要業界からのヒアリング等を中心に対策を積み上げていることから、わが国全体の対策費用を整合的に推計することは極めて困難であると考えられ、この点についての議論は深化しなかった。

当然ながらマクロ経済影響は、将来の為替レート、原油価格等に大きく左右され、地球温暖化対策の程度だけで決まるものではない。政策決定者への情報提供のため地球温暖化対策のマクロ経済影響を定量的に推計するためには、マクロ経済モデルとの連携が必要である。

#### 2.2.4 まとめ

以上に、1997 年のわが国政府部内で行われた CO<sub>2</sub> 排出削減の可能性を巡る一連の議論から導きだされる推計モデル開発・利用にあたっての留意点を、社会経済等の前提条件、推計手法、技術的対応の織り込み、ライフスタイル面の対応、対策費用等の観点から整理した。

京都会議に向けたわが国政府の目標案の提示については、そのプロセスを含めさまざまな問題点が指摘されているが、政府内部においてこの政策形成プロセスが与えた影響は多大であったと推察できる。すなわち、従来ならエネルギーサイドが非公開に審議を進め将来のエネルギー需要およびこれに関連する CO<sub>2</sub> 排出量の見通しを決めていたものが、環境サイドをはじめとして交通サイド、経済計画サイド、国土計画サイド等さまざまな主体がそれぞれのモデル推計結果を携えてプロセスに参画し議論を進めることで、少なくとも行政機関内部での地球温暖化対策に対する問題意識および政策立案能力の向上がみられた。地球温暖化防止行動計画策定当時（1990 年）と比べると、格段の進歩である。

もちろん、政府部外の関係者のこのプロセスへの参画の機会を確保すべき、プロセスの透明性を向上すべきなどの課題には今後対応する必要がある。このためには、多種多様な発生源があり複雑で難解なものになりがちな地球温暖化対策に関する政策支援ツール（モデル）の透明

性を高めるとともに、一般国民にも理解しやすいような情報発信モジュールの開発や、場合によっては実際にアクセスして利用できるような普及啓発版の開発も今後の課題である。

## 2.3 マクロ指標および個別対策技術等による排出量変化の分析

2.3 では、2.2 で整理分析した地球温暖化対策形成を巡る国内での諸議論を踏まえ、とくに政策形成上重要な課題として抽出した温室効果ガスの排出量増減に及ぼす要因分析や対策・技術ごとの削減寄与の定量化という課題の解決のため、2.1 に示した AIM エンドユースモデルによるわが国の CO<sub>2</sub> 排出量推計結果をもとに追加的な詳細分析を行う。

### 2.3.1 経年変化の分析

CO<sub>2</sub> 排出総量の変化を、エネルギー消費量およびエネルギー消費のドライビングフォースにより分析する場合、その分解は次式により示される<sup>5)</sup>。

$$C = \sum_i \frac{C_i}{E_i} \cdot \frac{E_i}{F_i} \cdot F_i \quad (2-15)$$

ここに  $C$  は CO<sub>2</sub> 排出総量、 $C_i$  は第  $i$  部門からの CO<sub>2</sub> 排出量、 $E_i$  はエネルギー消費量、 $F_i$  はエネルギー消費のドライビングフォースである。ドライビングフォースとしては、全部門では GDP を、産業部門では当該部門の GDP を、家庭部門では世帯数を、業務部門では業務用床面積を、そして交通部門では旅客輸送量および貨物輸送量を用いた。

表 2-4 は、1970 年から 1995 年までの実績<sup>11)・16)</sup>および表 2-2 に示した 2020 年までの将来推計値をもとに、CO<sub>2</sub> 排出量の変化を燃料の炭素集約度( $C/E$ )、エネルギー消費の効率( $E/F$ )およびドライビングフォース( $F$ )という 3 つのマクロ指標により分析した結果である。

1970 年から 1995 年の 25 年間は、産業部門において年率 2.2%のエネルギー効率向上がみられるものの、全体として年率 3.7%のドライビングフォース増大ならびに家庭および旅客部門でのエネルギー効率の悪化（年率 2.7%および 2.1%）により全体として年率 1.7%の CO<sub>2</sub> 排出量増加となっている。

1995 年から 2020 年の将来 25 年間は、参照ケース全体でみると過去 25 年間と同程度にエネルギー効率が向上するが、ドライビングフォースの年率 2.1%の増大により年率 0.8%の CO<sub>2</sub>

排出量増大となっている。一方、対策ケースにおいては、同率のドライビングフォース増大のなかで、年率2.4%のエネルギー効率向上および年率0.4%の炭素集約度低減により、年率0.7%でのCO<sub>2</sub>排出量の減少となっている。対策ケースの変化要因を部門別にみると、産業および旅客部門でのエネルギー効率の向上ならびに家庭および業務部門での炭素集約度の低減（電力のCO<sub>2</sub>排出原単位の低下）の変化率が大きく、産業部門のエネルギー効率向上の年平均変化率は、過去25年間の実績と同程度である。

また、将来期間内の変化を詳細にみると、表2-2に示されているとおり、家庭部門およびエネルギー転換部門の対策ケースでは2000年から2010年で2割程度低減しており、前後の期間に比べこの期間に大幅な排出削減が図られている。

表 2-4 二酸化炭素排出量の経年変化の要因 変化率（%/年）

部門	1970-1995(実績)				1995-2020(参照ケース)				1995-2020(対策ケース)			
	C	C/E	E/F	F	C	C/E	E/F	F	C	C/E	E/F	F
産業	0.4	-0.5	-2.2	3.2	0.4	-0.1	-1.3	1.8	-0.8	-0.7	-2.0	1.8
家庭	3.5	-0.7	2.7	1.5	0.7	-0.3	0.5	0.5	-1.9	-1.8	-0.6	0.5
業務	3.7	-0.2	0.0	4.0	0.6	-0.3	-0.4	1.2	-0.9	-1.6	-0.6	1.2
旅客	4.8	-0.2	2.1	2.8	1.6	0.0	0.1	1.5	-0.7	-0.1	-2.1	1.5
貨物	2.2	-0.1	0.4	1.9	0.8	0.0	0.0	0.8	0.3	0.0	-0.5	0.8
全部門	1.7	-0.5	-1.4	3.7	0.8	0.3	-1.5	2.1	-0.7	-0.4	-2.4	2.1

## 2.3.2 対策効果のマクロ指標による分析

2.3.1と同様の手法により、2010年における参照ケースと比較した対策ケースおよび政府見通しのマクロ指標による比較分析の結果を表2-5に示す。表中のパーセンテージは、2.3.1の参照ケースにおけるCO<sub>2</sub>排出量(C)、炭素集約度(C/E)、エネルギー効率(E/F)およびドライビングフォース(F)に対する対策ケースおよび政府見通しのC、C/E、E/FおよびFの比を示したものである。

ここで、政府見通しに関しては利用可能データの制約から、エネルギー効率および全部門の炭素集約度による分析は行わなかった。



対策ケースについてみると、家庭部門および業務部門における炭素集約度( $C/E$ )の改善(23~24%)ならびに家庭部門および旅客部門におけるエネルギー効率( $E/F$ )の改善(23~24%)が、CO<sub>2</sub>排出量( $C$ )の削減に大きく寄与している。また、産業部門でも炭素集約度、エネルギー効率のそれぞれで10%の改善が図られている。政府見通しに比較して本推計の対策ケースにおいてCO<sub>2</sub>排出量がより大きく削減されているのは、家庭部門および業務部門における炭素集約度の改善ならびにエネルギー効率の改善が寄与しているものと推察される。

表 2-5 2010 年における対策効果のマクロ指標分析

ケース	部門	$C$	$C/E$	$E/F$	$F$
対策ケース	全部門	77	89	86	100
	産業	81	90	90	100
	家庭	59	77	77	100
	業務	76	76	100	100
	旅客	75	99	76	100
	貨物	94	100	95	100
政府見通し	全部門	80	-	-	96
	産業	86	90	-	-
	民生	70	79	-	98
	交通	79	99	-	104

(注 1) 2.3.1 の参照ケースを 100 とした場合の数値。

(注 2) 需要部門の数値は、電力分配後の排出量である。

(注 3) 政府見通しにおけるドライビングフォースとしては、民生部門が世帯数、交通部門が貨物輸送量で代表させたが、産業部門の適当な指標は利用可能ではなかった。

### 2.3.3 個別対策技術ごとの効果分析

第 1 章でレビューしたエネルギーエンドユースモデルの開発・利用や 2.2 で述べたわが国における CO<sub>2</sub> 排出の削減余地をめぐる諸議論から、目標年における排出削減量に対する個別対策技術等ごとの寄与を明らかにすることが政策形成にとって重要であることが示された。

そこで 2.3.3 では 2.1 に示したわが国における近未来における CO<sub>2</sub> 排出量を AIM エンドユースモデルによって推計した結果をもとに、参照ケースと対策ケースの間で個別の対策技術等がどのように排出削減に貢献したのかを分析し報告する。

この分析は、参照ケースに対して個別対策技術等を順次実施していった場合のエネルギー消費量および CO<sub>2</sub> 排出量を算定し、各計算結果の差をもって追加した対策の削減効果量とするものである。この手法の場合、ダブルカウント等の問題はないものの、個別対策技術等を導入する計算上の順番で当該対策の削減効果が異なることに留意する必要がある。今回の分析では、まず個々の高効率技術（たとえば、低燃費自動車）を導入した効果を計算し、つぎにエネルギー需要に影響を及ぼすような構造変化（たとえば、モーダルシフト）の効果を計算した。

ここで簡単な例を用いて、計算上の対策導入順次の影響を説明する。参照ケースのエネルギー

一消費量を 12 と想定し、対策として「エネルギー消費量が従来型の 2/3 になる高効率技術」と「エネルギーサービス量が対策前の 3/4 になる構造変化対策」を仮想した場合の各対策の削減効果をエネルギー消費量ベースで分解する。

まず、高効率技術の導入の効果量を先に算定した場合、その効果量は 4 ( $12 \times (1 - 2/3)$ ) となり、構造変化対策による効果量は残りの 2 ( $12 \times 2/3 \times (1 - 3/4)$ ) となる。一方、構造変化対策による効果量を先に算定した場合、その効果量は 3 ( $12 \times (1 - 3/4)$ ) となり、高効率技術の導入による効果量は残りの 3 ( $12 \times 3/4 \times (1 - 2/3)$ ) となる。このように計算上の対策導入順次により対策効果が若干異なるが、この差は政策決定に際して大きな影響を与えるものではないと考える。

2010 年時点で参照ケースとの比較において、各部門における CO<sub>2</sub> 排出削減寄与の大きな (1MtC/年以上) の個別対策技術等を表 2-6 に示す。産業部門においては製造プロセスの変更が、民生部門においては高効率電気機器の大量普及が、交通部門においては低燃費自動車の大量普及 (たとえば、直噴ガソリンエンジンが小型乗用車の約 6 割に普及) がとくに大きく削減に寄与していることが示されている。また、購入電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位の低減により全部門通じて約 26MtC/年の排出量が削減されている。これは、対策ケースでは電力消費を抑制させるとともに新エネルギー等を拡大することで、炭素集約度の高い石炭火力等の電源のシェアを低下できることにより、表 2-7 に示すように 2010 年の電源構成が変化し、電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位が 97gC/kWh (参照ケース) から 63gC/kWh (対策ケース) に低減することにより達成されるものである。

表 2-6 対策ケースにおける CO<sub>2</sub> 排出削減寄与 (対参照ケース, 2010 年)

部門	要因種別	個別対策技術等	削減量 MtC/年
産業	構造変化	電気炉のシェア拡大	2.4
		高炉への廃プラスチック投入	2.3
民生	高効率化	白熱灯型蛍光灯の普及	1.7
		省エネ冷蔵庫の普及	1.1
		省エネエアコンの普及	1.9
		待機削減型機器の普及	2.0
	構造変化	住宅断熱化の強化	1.5
		暖房機器のエアコンへの代替	4.9
交通	高効率化	直噴ガソリン自動車の普及	7.4
		ハイブリッド乗用車の普及	2.4
	構造変化	情報通信による移動抑制	1.8
		自動車以外への転換促進	1.4

(注) 購入電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位の低減による削減効果は除いた。

表 2-7 ケース間の電源構成の比較(2010 年)

単位：％

	原子力	水力	天然ガス	石油	石炭	地熱	廃棄物	太陽光
参照ケース	33.8	12.2	23.9	11.3	16.8	1.4	0.7	0.0
対策ケース	42.6	14.3	24.3	5.3	8.6	2.2	2.7	0.1

## 2.4 考察と政策的含意

2.3.1 の結果から、本章における対策ケースに示される CO<sub>2</sub> 排出削減を達成するためには、

- 1) 産業部門においては過去 25 年と同様のエネルギー効率改善率の継続
  - 2) 家庭および交通部門では過去のエネルギー効率の低下速度年率 2~3% を反転させること
  - 3) 民生部門における炭素集約度を年率 1.6~1.8% のスピードで低下させること
- が必要となる。

産業部門については、「日本のエネルギー効率は既に世界最高水準にあり、今までと同じようにその効率を高めていくことは困難」とする見方<sup>8)</sup>もあるが、循環型生産プロセスや燃料電池開発等の CO<sub>2</sub> 排出の少ない新技術等の開発は着実に進展しつつあること、また、民生部門や交通部門においては過去 25 年間でみると特段の強力な対策は講じられてこなかったことなどから、これらの技術やシステムの導入を促進する仕組みを整備することで、対策ケースに示されるような排出削減は実現可能なものと判断できる。

この場合、とくに旅客部門においては年率 2% で悪化していたエネルギー効率を年率 2% 程度の改善にシフトさせるような強力な措置が必要であり、税制等による低燃費車への誘導とともにこれらの低燃費車の性能が十分発揮できるような交通システムの整備が不可欠であると考ええる。

つぎに 2.3.2 の結果から、炭素集約度対策とエネルギー効率対策の両者の重要性が示唆される。すなわち計算では、高効率機器の大量普及による電力消費量の抑制効果が発電部門での低炭素集約度エネルギー源の優先利用を可能とさせており、それらの相乗により大幅な CO<sub>2</sub> 排出量削減が可能となっている。今後の施策運用にあたっても、この相乗効果をみのがしてはならない。

また、2.3.3 に示した個別対策技術等の削減効果の推計結果からいくつかのキーテクノロジーが抽出できる。本論文における個別対策技術等の削減効果と政府見通しにおける対策の削減効果を比較したものが表 2-8 である。両者にばらつきがあるものの、数多くある対策技術等のメ

ニュー（AIM エンドユースモデルの場合、約 220 項目）のなかで削減寄与率の高い主要なものは両方で共通しており、このようなキーテクノロジーへ集中的に導入促進施策を講ずることが重要である。

表 2-8 主要な個別対策技術等の削減効果の比較 単位：MtC/年

主な個別対策技術等	本論文における削減効果	政府見通し
エアコンの効率向上等	6.8 ( 7.8%)	3.4 (6.0%)
住宅の断熱化	1.5 ( 1.7%)	2.8 (5.0%)
自動車燃費の改善	9.3 (10.6%)	3.2 (5.7%)
低公害車の普及	2.4 ( 2.7%)	0.9 (1.6%)

(注 1) ( ) 内の％は、各ケースの全削減効果量に対する割合を示す。

(注 2) 本論文における「エアコンの効率向上等」には暖房へのエアコン導入による効果も含まれる。

以上、将来の排出量推計とその削減寄与の分析手法についてみるといくつかの課題が残されている。地球温暖化防止京都会議に向けたわが国政府における削減余地に関する議論と手法について概観すると、次のとおりである。

- 1) 環境庁地球温暖化対策技術評価検討会<sup>17)</sup>は詳細な技術の積み上げにより 2000 年時点での CO<sub>2</sub> 排出量の 1990 年レベルでの安定化を示唆したが、エネルギーの需要と供給の部門間の整合が十分考慮されていなかった。
- 2) 政府関係審議会の合同会議<sup>18)</sup>はエネルギー起因の CO<sub>2</sub> 排出量を 2010 年で 1990 年レベルに安定化させる見通しとその内訳を示したが、部門間や主体間での費用効果面などでの公平性の問題や活動抑制対策（たとえば、エアコンの設定温度）と効率向上対策（たとえば、エアコンの COP 向上）は独立ではないにもかかわらずそれらの効果を単純に加算している等の問題を残した。
- 3) AIM エンドユースモデルを用いた CO<sub>2</sub> 排出量の将来推計は上記 2 つの推計の諸課題を概ね解決するものであり、2010 年で 1990 年レベルから 5%以上の削減可能性を示唆<sup>5,10)</sup>したが、このような複雑なプロセスを最適化するモデルでは対策ごとの削減寄与への分解が困難であり、第三者への説得性が必ずしも十分ではなかった。

本章は、上記 3)の課題解決に向け、将来の技術の進展・代替をシミュレートした推計結果を対象に、マクロ指標および個々の対策技術等の両面からそれらが CO<sub>2</sub> 排出削減に果たした寄与を一定の条件で分析したものである。今回の分析は技術の費用効果を比較した既往の研究<sup>18)</sup>と比較して、現実の技術代替により近い動的メカニズムをもって将来を推計し、その結果を個別対策技術等の寄与の観点から分析している点に特徴がある。

## 2.5 まとめ

本章ではまず、第1章で有用性を確認したエネルギーエンドユースモデルに属する AIM エンドユースモデルを活用して、わが国の近未来の二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）排出量を推計し、次のような結果を得た。

- 1) 参照ケースでは 2010 年に 1990 年比で約 24%、2020 年にて約 25%CO<sub>2</sub>排出量が増加する。とくに交通部門での増加が著しく、2020 年では 90 年比で約 62%増大する。
- 2) 対策ケースでは 2010 年に 1990 年比で約 5%、2020 年に約 15%CO<sub>2</sub>排出量が削減される。家庭部門、産業部門およびエネルギー転換部門では 2020 年時点で 90 年比 20%~30%の削減となっている。

つぎに、このモデルを用いた推計を含むわが国の CO<sub>2</sub>排出量の削減余地を巡る議論を概観し、多種多様な対策メニューを整合性と透明性をもちながら積み上げていく困難さを改めて確認した。

そして、複雑なプロセスを最適化するモデルでは対策ごとの削減寄与への分解が困難であり、第三者への説得性が必ずしも十分ではないという課題解決に向け、将来の技術の進展・代替をシミュレートした推計結果を対象に、マクロ指標および個々の対策技術等の両面からそれらが CO<sub>2</sub>排出削減に果たした寄与を一定の条件で分析した。

このうちマクロ指標による分析の結果、対策ケースの排出削減を達成するためには、

- 産業部門においては過去 25 年と同様のエネルギー効率改善率の継続
- 家庭および交通部門では過去のエネルギー効率の低下速度年率 2~3%を反転させること
- 民生部門における炭素集約度を年率 1.6~1.8%のスピードで低下させること

が必要となることを示した。また、炭素集約度対策とエネルギー効率対策の両者が連携した対策推進の重要性が示唆された。

さらに、対策技術別の分析の結果、たとえば低燃費自動車および高効率エアコンの排出削減総量に対する寄与はそれぞれ 11%および 8%を占めることが分かり、これらのキーテクノロジーへ集中的に導入促進施策を講ずることが極めて重要であることを示した。

今回の分析は技術の費用効果を比較した既往の研究と比較して、現実の技術代替により近い動的メカニズムをもって将来を推計し、その結果を個別対策技術等の寄与の観点から分析している点に特徴がある。

## <文献>

- 1) 島田 幸司, 地球温暖化防止京都会議 (COP3) の結果とその後の動向について, 環境衛生工学研究第 12 巻第 4 号, p.37-p.43, 1998.
- 2) 松岡 譲・森田 恒幸・水野 健太, エネルギー消費技術の改善が二酸化炭素排出量抑制に及ぼす効果のシミュレーション, 土木学会論文集 No. 573/VII-4, p. 81- p. 92, 1997.
- 3) 松岡 譲・森田 恒幸・日比野 剛・水野 健太, エネルギー消費起因の二酸化炭素排出量推計モデルの開発とわが国の二酸化炭素排出量の見通しについて, 環境システム研究 Vol. 24, p. 149-p. 156, 1996.
- 4) 島田 幸司・日比野 剛・藤岡 莊史・松岡 譲, 近未来におけるわが国の二酸化炭素排出量の推計とその変化要因に関する研究, 環境システム研究 - 全文審査部門論文 - Vol.27, p.207-p.215, 1999.
- 5) 松岡 譲・森田 恒幸, わが国の二酸化炭素排出量削減の可能性について, 環境システム研究 Vol. 25, p. 133-p. 142, 1997.
- 6) 経済企画庁, 「構造改革のための経済社会計画」の推進状況と今後の課題, 1996.
- 7) 国立社会保障・人口問題研究所, 「日本の将来推計人口」, 1997.
- 8) 地球温暖化対策関係審議会合同会議第 3 回資料, 1997.
- 9) 松岡 譲, エネルギー需要面からみた地球温暖化対策～わが国はどこまで CO<sub>2</sub> を削減できるか～, 日本学術会議講演資料, 9pp, 1997.
- 10) 松岡 譲・森田恒幸・甲斐沼 美紀子・水野 健太, わが国における二酸化炭素排出量の見通しとその抑制対策の効果について, 土木学会論文集 No. 580/VII-5, p. 27- p. 36, 1997.
- 11) 環境庁, 「二酸化炭素排出量調査報告書」, 1992.
- 12) 資源エネルギー庁, 「総合エネルギー統計 平成 10 年度版」, 1998.
- 13) 経済企画庁, 「国民経済計算年報 平成 10 年版」, 1998.
- 14) 総務庁, 「国勢調査報告 平成 7 年版」, 1995.
- 15) EDMC 編, 「99 エネルギー・経済統計要覧」, 1999.
- 16) 運輸省, 「運輸経済統計要覧 平成 9 年版」, 1997.
- 17) 環境庁, 「地球温暖化対策技術評価検討会報告書」, 1996.
- 18) UNEP, UNEP Greenhouse Gas Abatement Costing Studies, Phase Two Report: UNEP Collaborating Centre on Energy and Environment, Riso National Laboratory, Denmark, 1994.

### 第3章 地球温暖化対策の副次的便益の概念と推計方法

地球温暖化対策については、1997年12月に京都議定書が採択され、その後も数々の交渉が重ねられた結果、2001年7月にボンで開催された第6回締約国会合再開会合(COP6-bis)において、吸収源の見込み方、排出量取引上の制限等議定書実施のための基本的事項について合意した。さらに詳細な規則に関しても第7回締約国会合(COP7)で概ね合意されたが、遵守問題等が積み残されたほか、開発途上国の参加の道筋もみえない。

本格的な対策実施に向けての歩みが平滑に行かない主な原因は、地球温暖化対策に要する費用負担やこれに起因するマクロ経済への負の影響に対する懸念が対策実施による恩恵への認識を上回っていることにある。たとえば気候変動による海面上昇に適応するため将来世代が負う対策費用は莫大となり、長期的にみれば地球温暖化対策を積極的に講ずることは経済的にも合理的なことである。しかし、このような合理性は現世代の対策強化の動機付けにはなり得ていない。

そこで本章では、マクロ経済に負の影響が大きいと考えられている地球温暖化対策のもつ現世代に対する副次的な便益を定量化し、当該対策実施の根拠を強化しようとする国際的な研究動向をレビューする。

#### 3.1 地球温暖化対策の副次的便益の概論

3.1 では比較的新しい概念である副次的便益について、以下にその概念や定義、分類と現時点での主要論点をまとめた。

##### 3.1.1 地球温暖化対策の費用と波及的に生じる便益

地球温暖化対策を経済的に評価する場合、それに要する「総費用」と「純費用」を区別する必要がある。

「総費用」とは「限界削減費用」(追加的に1単位排出量を削減するのに要する直接費用)の総和であり、「平均費用」は「総費用」を排出削減量で除したものである。また、「純費用」とは、対策の実施により波及的に生じる便益を見込んで「総費用」からこの便益を差し引いたものである。

一般的に地球温暖化対策の実施により生じる波及的便益は、次の3つの領域に分けられる<sup>1)</sup>。

1) 「負の費用」:

現に使用されている技術よりも低い費用で排出削減できる技術の存在を想定。

2) 環境における「二重配当」:

地球温暖化対策が他の環境問題の解決にもつながることを想定。

3) 社会経済における「二重配当」:

研究開発や高効率機器の普及の結果生み出される技術の外部効果による経済成長や雇用拡大のほか交通渋滞・事故の軽減など幅広い分野への波及性を想定。

本章においては、1)は「総費用」に含まれる便益とし、2)および3)を「総費用」から相殺され「純費用」を導くための便益と整理する。

ここで、温室効果ガスの排出削減量（すなわち対策強度）と要する費用の関係を示した図 3-1 を使って、地球温暖化対策の「総費用」や「純費用」と上述した3領域の便益の関係を説明する。

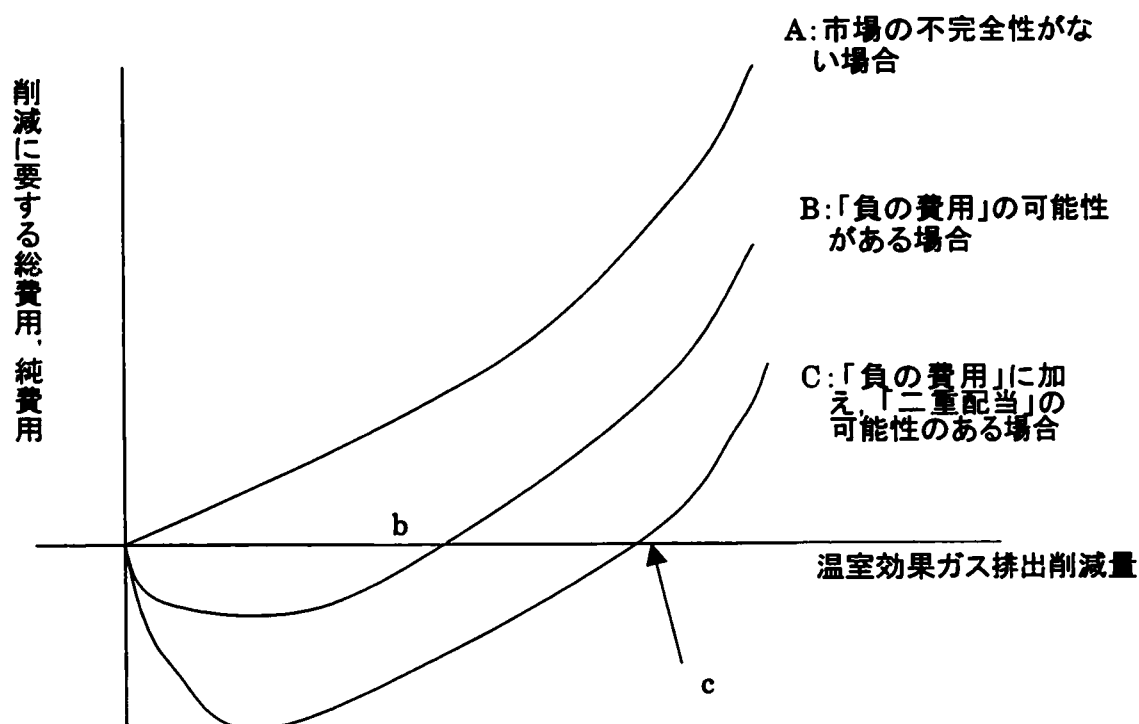


図 3-1 温室効果ガス排出削減量と費用の関係

図中曲線 A は、市場メカニズムにより最も経済合理的な機器・技術がすでに導入されきって



いると仮定した際の対策の強度（温室効果ガス排出削減量）と要する「総費用」の関係である。

曲線 B は、上記 1)の「負の費用」が存在すると想定した際の対策強度と「総費用」の関係である。効率的な機器の導入によって燃料代が節約できることで排出削減量が  $b$  に至るまでは、負の「総費用」となっている。たとえば、化石燃料への補助金が存在し燃料価格が安い場合エネルギー効率的な機器の導入が進まない状況に対して炭素税を導入することによって、効率的な機器の普及が進むことが期待でき（市場の不完全性を政策・措置で修正できる）、より効率的な機器購入のための費用は運転費用の節約によって相殺されて余りある場合がこのケースに相当する。この場合、温室効果ガス削減量  $b$  までの対策がいわゆる「後悔しない(no-regret)対策」の範囲である。

曲線 C は、曲線 B で示した「負の費用」に加えて上記 2)および 3)に示した「二重配当」の存在を想定した際の対策強度と「純費用」の関係を示している。環境あるいは社会経済における「二重配当」を見込むことによって、「純費用」が負の領域が曲線 B よりも大きくなり、「後悔しない対策」は排出削減量  $c$  の範囲まで広がることになる。

本章においては、曲線 B と曲線 C の間に示された便益、すなわち環境面および社会経済面を与える「二重配当」によってもたらされる便益に焦点をあてて論を進めることとする。

### 3.1.2 副次的便益の概念と定義

地球温暖化の本格的な対策の着手になかなか踏み切れないのは、莫大な総費用を要する、あるいはこれによるマクロ経済への悪影響が心配されるなどの理由によるものである。しかし、3.1.1 で述べたとおり地球温暖化対策は温暖化の抑制のほかいくつかの波及的な効果をもたらすことが知られており、それらを勘案するならば現世代的見地からみても費用に対する便益の比が低いとは限らない。

こうした波及的な効果をもたらす便益を分類してみると、

- 1) 地球温暖化対策が他の分野に与える便益
- 2) 大気汚染対策のような他分野での対策が地球温暖化緩和に与える便益
- 3) 地球温暖化対策と他分野の対策の共通の便益

の 3 つに大別できる。一般的に 1)および 2)を副次的便益(ancillary benefits), 3)を共通便益(co-benefits)と称す場合が多く<sup>2)</sup>、本章ではこのうち 1)の便益に焦点を当てることとする。この便益、すなわち地球温暖化対策に係る副次的便益は図 3-2 のように模式化できる。

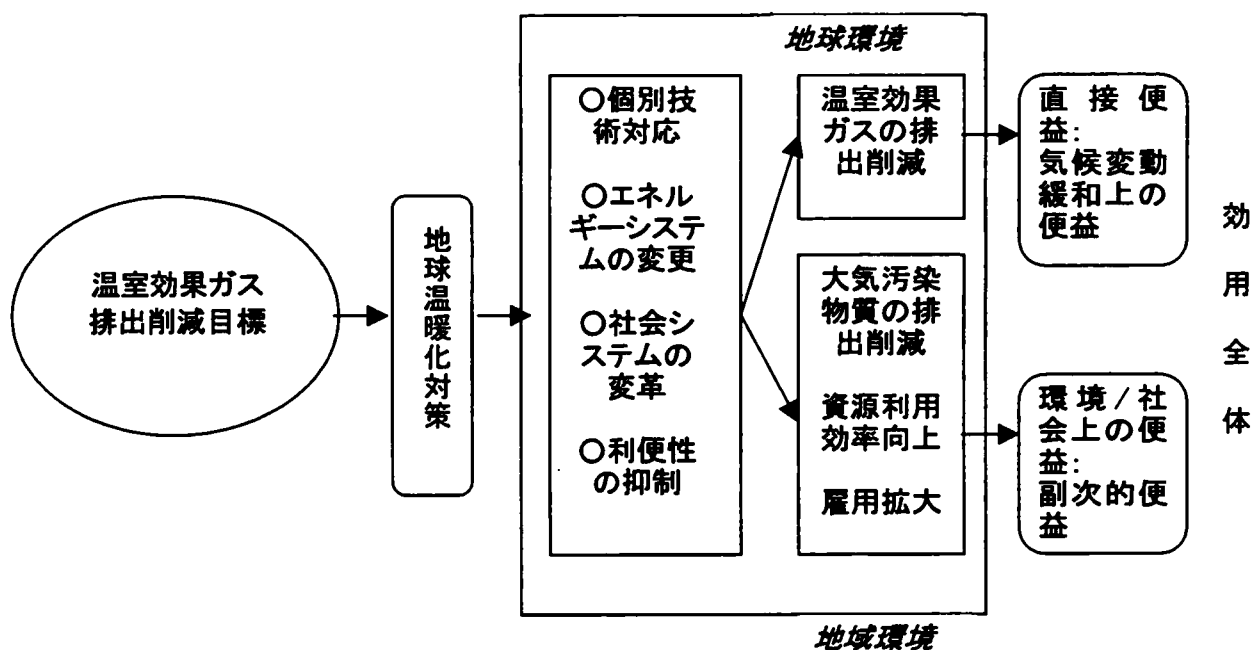


図 3-2 地球温暖化対策の副次的便益発現のメカニズム

### 3.1.3 副次的便益の分類

3.1.1 で述べたとおり、本章で対象とする副次的便益とは、地球温暖化対策を実施することによる環境上および社会経済上の二重配当を指すものである。

環境上の二重配当として、

- 人の健康保護上の便益（例：大気汚染軽減による健康被害回避）
- 生態系に対する便益（例：吸収源確保のための森林保全など）
- 交通環境上の便益（例：交通渋滞・事故の緩和）

などがあげられ、また、社会経済上の二重配当として

- 雇用上の便益（例：対策関連の産業振興）
- 技術進展上の便益（例：研究開発意欲の促進）

などがあげられる<sup>2)</sup>。

既往の研究結果では、これらのうち第一番目に掲げた健康保護上の便益が全体の 70～90%を占めている<sup>3)</sup>。

このほか、開発途上国において京都議定書に基づくクリーン開発メカニズム（以下、CDM）を適用することによる持続可能な開発の実現（環境健全性の高いインフラ整備を通じた生活水準の向上など）といった便益も期待できる。

### 3.1.4 大気汚染軽減による健康被害回避に係る効果・便益の推計

地球温暖化対策の副次的便益の大部分を占める「大気汚染軽減による健康被害回避」に係る便益を的確に推計するには、次のような手順が必要となる。

- 1) 温室効果ガスおよび大気汚染物質の発生量の把握（トップダウン型，ボトムアップ型）
- 2) 発生源対策の導入（炭素税等マクロ対策、機器・技術別の対策積み上げ）
- 3) 各大気汚染物質発生源からの拡散後の地表濃度予測と地域人口への暴露量低減を評価
- 4) 大気系疾病別のドース・レスポンス関数から健康被害回避量を推計
- 5) 健康被害回避量を経済評価（貨幣価値に換算）

本論文では、2)の地球温暖化対策による大気汚染排出削減量を「副次的効果」といい、5)までの推計手順を経て経済評価された便益を「副次的便益」という。

なお、これらの推計作業の遂行には、行政と汚染制御工学、大気拡散シミュレーション、環境疫学、環境経済学等多岐にわたる学問領域との連携が不可欠となる。

## 3.2 副次的効果・便益の推計方法

第1章では、温室効果ガス排出量推計の手法として、トップダウン型とボトムアップ型の2つのアプローチがあることを概説したが、地球温暖化対策の副次的効果・便益推計の方法としても同様にこの2通りのアプローチに大別できる。

### 3.2.1 マクロ経済モデルによる副次的効果・便益の推計方法

第1章で述べたトップダウン型、すなわち、マクロ経済モデルを用いて経済成長率、燃料価格等の経済パラメータからエネルギー需要量を予測する方法によって地球温暖化対策の副次的効果・便益を推計する手順を図3-2に示す。まず、参照ケースでは、対象地域の将来の経済成長率、燃料価格等に基づき、マクロ経済モデルを用いて将来のエネルギー需要を予測し、これに燃料量中の炭素分や硫黄分を乗ずることにより二酸化炭素(以下、CO<sub>2</sub>)や二酸化硫黄(以下、SO<sub>2</sub>)の排出量を推計する。対策ケースでは、炭素税など導入を想定する対策による燃料価格の変化を織り込みながら再びマクロ経済モデルによりエネルギー需要量を予測し、これに基づいて同様にCO<sub>2</sub>やSO<sub>2</sub>の排出ガス量を予測する。両ケースにおけるCO<sub>2</sub>排出量の差が地球温暖化対策の直接効果、SO<sub>2</sub>排出量の差が地球温暖化対策の副次的効果である。

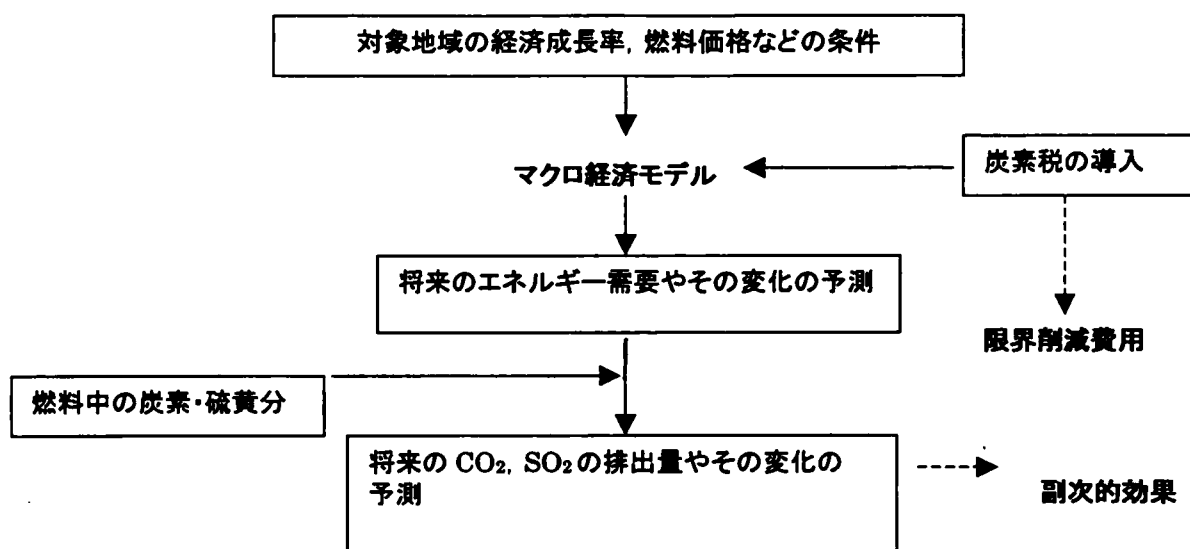


図 3-2 マクロ経済モデルによる副次的効果の推計フロー

なお、窒素酸化物(以下、 $\text{NO}_x$ )や粒子状物質(以下、PM)の排出量については、燃料中の含有成分だけではなく燃焼条件に大きく依存することから、このようなトップダウン型による推計は困難である。

マクロ経済モデルによる推計の場合、集約化したマクロなエネルギー需要量がアウトプットとなるため、個別技術・対策別の副次的効果の発現状況は分析できない。また、発生源の位置や排出量に関する情報はマクロ経済モデルに内包されていないので、3.1.4 の 1)～5)に示した手順の 3)以下の的確な計算への対応は困難である。

## 3.2.2 地域積み上げモデルによる副次的効果・便益の推計方法

### 3.2.2.1 推計方法の概要

地域型積み上げモデルの特徴は、第 1 章で述べたとおり、機器・技術ごとにエネルギー消費原単位、ガス排出原単位、設置・運転費用などのデータを有する点にある。このタイプの推計では、外生的に与える社会経済的条件から導き出される各部門・分野ごとの活動量を満たすべく各機器・技術が稼動し、そのために必要となるエネルギー消費、さらにはそれに伴う排出ガス量が積み上げられる。このような地域積み上げ型モデルを用いて、地球温暖化対策の副次的効果・便益を推計する手順を図 3-3 に示す。

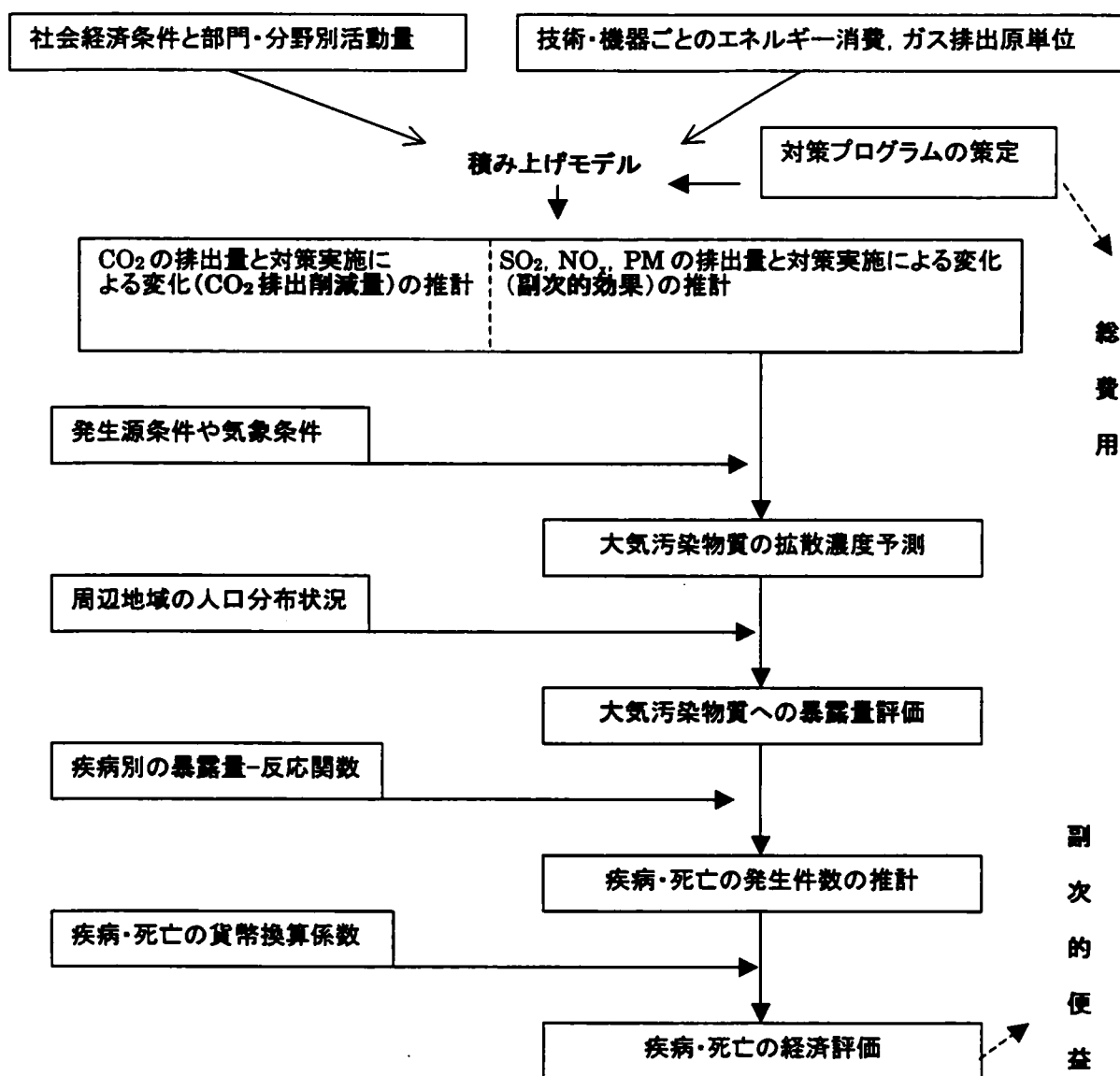


図 3-3 地域積み上げモデルによる副次的便益の推計フロー

マクロ経済モデルによる推計と比較したときの特徴として、

- ① 発生源別データを有していることから、3.1.4 に示した推計手順のうちの 3)の推計、すなわち、排出ガスの拡散濃度予測と地域人口への暴露量評価に繋げやすいこと
- ② 対策技術ごとの副次的効果・便益を推計しうること
- ③ 機器ごとの燃焼特性に大きく依存する  $\text{NO}_x$ 、PM の排出面からみた副次的効果・便益を正確に推計しうることをあげることができる。

### 3.2.2.2 具体的な推計手順

まず、参照ケースでは、将来の社会経済条件に沿った各部門・分野の活動量とそれらを担う機器・技術のエネルギー消費原単位やガス排出原単位から、機器別にCO<sub>2</sub>やSO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、PMなどの排出量を推計し、これらを積み上げる。つぎに、これら発生源からのガス排出量を発生源の位置、気象条件等をもとに大気汚染物質の拡散シミュレーション計算を行う。この計算から得られた周辺地域への各ガスの拡散着地濃度と当該地域における人口分布・密度から大気汚染物質の地域人口への暴露量推計を行う。

疫学や動物実験の結果より得られている大気汚染物質の暴露量-反応曲線を、上記の地域人口暴露量推計結果に当てはめることにより、当該地域における大気汚染系疾病・死亡の発生件数を推計する。このような影響を経済評価して副次的便益を得るためには、推計された死亡者数や疾病患者数を貨幣価値に換算する必要があるが、この換算のためには、賃金、入院・治療などに要する医療費、生命・障害保険額、あるいは、そのような被害を回避するために支払ってもよいとする額(Willingness To Pay, WTP)などが通常用いられている。

対策ケースでは、企業の自主的な行動、市民の心がけ対策、交通対策などをそれぞれの部門・分野に導入したうえで、参照ケースと同様の手順で推計を進める。

参照ケースと対策ケースの間で生じるガス排出量の差が「副次的効果」、経済評価額の差が「副次的便益」である。この副次的便益と対策実施によってもたらされたCO<sub>2</sub>排出削減量から、1炭素トン削減あたりの副次的便益が得られ、1炭素トン削減あたりの直接対策費用と比べることにより、実施した地球温暖化対策の費用に対する副次的便益の比（以下、費用便益比）を示すことができる。

地域積み上げ型の推計では、参照ケースの設定に始まり、大気汚染物質排出量の推計、拡散・反応後の濃度予測、回避された影響（便益）の貨幣換算評価という過程を経ることになるが、いずれの段階においても推計の不確実性を伴うことから<sup>4)</sup>、使用した前提条件の透明性を高めることが重要である。

### 3.3 既往の副次的便益推計研究と政策形成への影響

地球温暖化対策による大気汚染物質の排出量削減（副次的効果）やこれに付随して得られる経済的価値（副次的便益）の推計に関しては、近年、主に欧米の研究者によりいくつかの研究が行われてきた。

### 3.3.1 既往の副次的便益推計の概観

これまでの研究で使用された地球温暖化対策の副次的便益推計の手法を、3.2 に示した方法論に沿って整理したものが表 3-1 である。ここでは、マクロ経済モデルによるもの、地域積み上げ型のもの、これらの併用型のもの、特定部門・地域のためのシミュレーションモデルによるものに分類した。

表 3-1 地球温暖化対策の副次的便益の推計手法と特徴

分類	特徴	研究例
マクロ経済モデル (トップダウン型)	対象とする地域の経済成長等の見込みから、マクロなエネルギー需給を予測し CO <sub>2</sub> や SO <sub>2</sub> などの排出量を推計。炭素税等の効果やマクロ経済費用の推計には有効であるが、詳細な副次的便益を把握するためには、発生源位置や人口分布を内包したモデルによる追加的な分析が必要。	Dessus and O'Connor <sup>5)</sup> , Brendemoen and Vennemo <sup>6)</sup> , Alfsen <i>et al.</i> <sup>7)</sup> , Barker and Rosendahl <sup>8)</sup> , Pechan-Avanti Group <sup>9)</sup> , Scheraga and Leary <sup>10)</sup>
地域積み上げ型 (ボトムアップ型)	個別業種やエネルギー消費機器ごとにエネルギー需要を積み上げ、これに伴う CO <sub>2</sub> や SO <sub>2</sub> などの排出量を推計。広く社会経済に与える影響は評価できないものの、すでに内包した発生源データベースに地理情報を付加すれば、詳細な副次的便益の推計ツールとして活用しうる。CDM などのプロジェクトの効果推計にも適している。	Cifuentes <i>et al.</i> <sup>11)</sup> , Aunan <i>et al.</i> <sup>12)</sup> , Wang and Smith <sup>13)</sup> , Caton and Constable <sup>14)</sup>
併用型 特定部門・地域シミュレーション	上記の両方の手法を組み合わせ推計。 電力部門など特定部門のみを対象とし、発生源と周辺地域の状況から対策効果を詳細にシミュレートするもの。	Aunan, Aaheim and Seip <sup>15)</sup> Burtraw <i>et al.</i> <sup>16)</sup>

発生源の位置と影響の発生場所が関連性の低い温室効果ガスの対策検討の場合は、マクロ経済モデルのようなツールによる分析で十分な場合も多いが、たとえば大気汚染関連の副次的便益を分析するためには、3.2 で述べたように、主要な工場の位置や人口の地域分布も推計モデルに取り込んでおく必要がある。地球温暖化対策を実施することによる大気汚染軽減（健康被害回避）に係る副次的便益は、発生源と近接した地域の人口密度が高いほど大きくなり、これを的確にシミュレートするためには、これらの要素を織り込んだボトムアップモデル開発が必要となるが、既往の研究ではこのような方法による推計例は少ない。

### 3.3.2 既往の研究における具体的な成果

欧州、米州、中国を対象とした地球温暖化対策に伴う SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM などの排出削減がもたらす便益に関し、既往の研究において得られた推計結果を表 3-2 にまとめた<sup>17)</sup>。ここでは、2010 年前後を目標年とした推計結果を中心に、貨幣価値で評価したものを整理した。

それぞれの研究において用いた推計手法や設定した前提条件・対策シナリオは多様である。

表3-1に示したように、トップダウン型の推計とボトムアップ型の推計に大別できる。

表3-2 地球温暖化対策の副次的便益(大気汚染関連)に関する既往の推計結果

著者	対象地域	対策シナリオ	推計年・モデル	対策費用 (\$/炭素トン)	副次的便益 (\$/炭素トン)	費用便益比	
途上国や移行国を対象とした研究	Dessus and O'Connor <sup>5)</sup>	チリ	CO <sub>2</sub> 削減率% 10 20 30	2010 動的・一般均衡 モデル	67 157 284	251 254 267	3.7 1.6 0.9
	Cifuentes <i>et al.</i> <sup>11)</sup>	サンチャゴ	エネルギー効率向上・汚染防止計画	1998~ 2011	—	62	—
	Eskeland and Xie <sup>18)</sup>	メキシコシティ, サンチャゴ	都市交通・大気環境対策	交通環境対策による 便益の推計	—	\$18,200/PMt \$1,400/NO <sub>x</sub> t \$500/ VOC t	—
	Aunan <i>et al.</i> <sup>12)</sup>	中国 山西省	コジェネレーション ボイラー修理 ボイラー代替 ボイラー管理 洗炭 ブリケット	対策別の費用 と便益の推計	-8.2 -1.7 -0.7 2.5 6.5 7.3	5.2 4.9 4.9 4.9 7.4 22.1	— — — 2.0 1.1 3.0
	Wang and Smith <sup>13)</sup>	中国	石炭ストーブ代替 石炭火力代替	対策別の積み 上げ計算	5 40	—	—
	Aunan, Aaheim and Seip <sup>15)</sup>	ハンガリー都市部	省エネ対策(%) CO <sub>2</sub> :-5.8~-7.5 NO <sub>x</sub> :-10.1,SO <sub>2</sub> :-5.7, PM: -9.3	ボトムアップ とマクロ経済 モデル	64-164	508	—
	Brendemoen and Vennemo <sup>6)</sup>	ノルウェー	炭素税	2025 動的・一般均衡 モデル	840	246	0.30
	Alfsen <i>et al.</i> <sup>7)</sup>	ノルウェー	CO <sub>2</sub> :安定化 SO <sub>2</sub> : -20.8% NO <sub>x</sub> : -10.8% PM: -4.3%	2000 SEEM+ RAINS モデル	—	24~452	—
	Barker and Rosendahl <sup>8)</sup>	欧州19ヶ国	炭素税	2008~2012 E3ME 計量経済モデル	161	153	0.95
	Caton and Constable <sup>14)</sup>	カナダ	総合対策	2010 総合対策の積み上げ	—	\$1.2 × 10 <sup>9</sup> /年 (3.4 × 10 <sup>7</sup> ~2.2 × 10 <sup>9</sup> )	—
先進国を対象とした研究	Burtraw <i>et al.</i> <sup>16)</sup>	米国電力部門	炭素税	2010 動的シミュレーションモデル	10 25	2.5~3.6 2.1~2.5	0.25~0.36 0.1
	Abt Associates Pechan-Avanti Group <sup>9)</sup>	米国	炭素税	2010 動的・一般均衡 モデル	30 67	8 68	0.27 1.0
	Scheraga and Leary <sup>10)</sup>	米国	炭素税	2000 動的・一般均衡 モデル	2.0~20	—	—

注1) 対策費用の欄には、炭素税を対策とする場合は1炭素トンあたりの税額(限界削減費用)を示し、個別対策技術の積み上げの場合はそれらの平均費用を表記した。

注2) 副次的便益の欄で単位を付した数値は、1炭素トン削減あたりの平均便益に換算不可能だったものを示す。

注3) —は文献中に示されていない、または換算不可能であることを示す。

マクロ経済モデルを用いたトップダウン型の推計では、炭素税が唯一の対策となっている一方、ボトムアップ型の推計では、省エネルギー対策、燃料転換、交通対策などの個別対策メニューとして盛り込まれていることが分かる。



これらの結果の比較検討には限界があるものの、概括すれば1炭素トン削減あたり-8～800米ドル程度の対策費用（限界削減費用、平均費用の両方を含む）を要する対策を導入すれば、5～500米ドル（1炭素トン削減あたりの平均）の範囲の副次的便益が得られることが示されている。一方Pearce *et al.*<sup>19)</sup> は、1996年時点までの研究レビューから、1炭素トン削減あたりの副次的便益を5～125米ドルとしており、これに比べ、本章で近年までの研究成果をレビューした結果得た数値はかなり大きくなっている。両レビュー間の1炭素トン削減あたり副次的便益値の差は、近年の途上国を対象とした研究成果の反映の有無によるものである。

先進国・途上国別に対策費用と副次的便益をみると、先進国では1炭素トン削減あたり2～840米ドル程度の対策を講ずると2～450米ドル程度の副次的便益が推計されているが、途上国では1炭素トン削減あたり-8～280米ドル程度の対策を講ずると、5～500米ドル程度の副次的便益が生ずることが示されている。これらの対策費用に対する副次的便益の比（費用便益比）をみると全体では0.1～3.7の範囲となっており、研究対象とした国・地域によって大きく異なっている。

この状況を分析するため、途上国を対象とした6つの研究および先進国を対象とした6つの研究から得られた地球温暖化対策に要する費用（1炭素トン削減あたり）と得られる副次的便益（1炭素トン削減あたり）の関係を図3-4に示す。

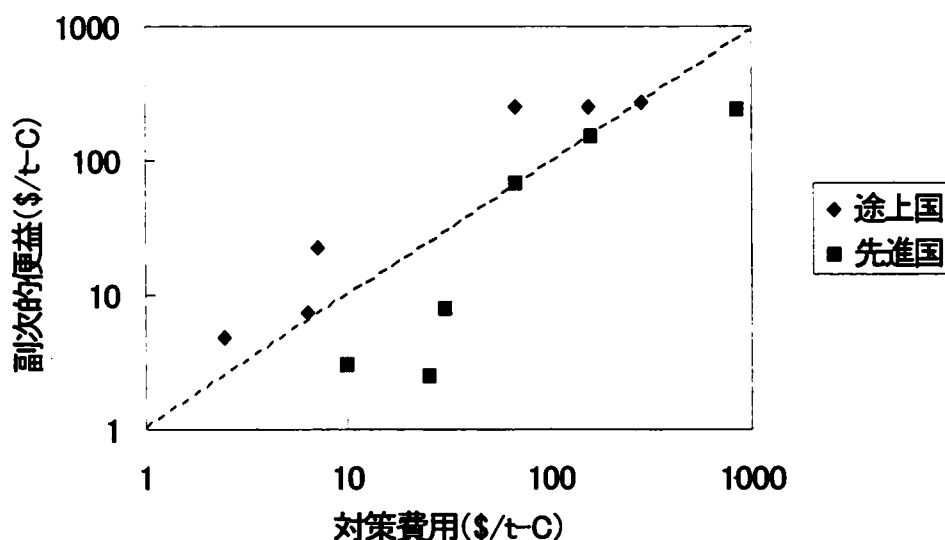


図 3-4 地球温暖化対策費用と副次的便益

- 注1) 図中の対策費用には、限界削減費用と平均費用の双方が含まれている。  
 注2) 図中の副次的便益は、1炭素トン削減あたりの平均値である。

この図から、先進国を対象とした研究ではおおむね1以下の費用便益比となっているのに対し、途上国を対象とした研究では1以上の費用便益比を得ている。1以上の費用便益比が得られる対策は、副次的便益を勘案するだけで、総費用が便益により回収できる「後悔しない対策」の範疇に入ることになり、途上国においてはこの種の対策がより多く存在することを示している。

また、地球温暖化対策に対する大気汚染物質排出削減量の感度は高くないと予想される先進国においても、炭素1トン削減するのに100ドル以上の費用を要する厳しい対策の導入を想定したいくつかの研究では、費用便益比が約1となり総費用が副次的便益により回収できている点も注目に値する。

### 3.3.3 米国環境保護庁によるカントリースタディ

米国環境保護庁は、アルゼンチン、ブラジル、チリ、中国、韓国およびメキシコを対象として、各国の行政担当者や専門家と協力して、大気汚染・温室効果ガス対策の統合戦略プログラムを推進している<sup>20)</sup>。チリおよび韓国においては、一連の推計作業が完了しており、その結果をまとめたのが表 3-3 である。

表 3-3 チリおよび韓国の大都市圏における地球温暖化対策の副次的便益

項目	チリ		韓国	
研究対象地域	サンチャゴ大都市圏		ソウル大都市圏	
地球温暖化対策シナリオ	エネルギー効率向上、燃料転換 交通対策、サンチャゴ汚染防止計画		エネルギー効率向上、天然ガスバ ス（4つの対策シナリオを設定）	
評価対象大気汚染物質	PM2.5（粒径 2.5 μm 以下の PM）		PM10（粒径 10 μm 以下の PM）	
	2010年	2020年	2010年	2020年
炭素換算削減量（百万トン）	1.4	3.9	2.25-6.75	2.82-8.46
回避された死亡者数（/年）	100	305	33-98	40-120
回避した呼吸器障害数（/年）	133,000	399,000	2,257-6,772	2,787-8,361
健康影響評価額（百万米ドル）	120	478	48-144	60-179
副次的便益 （米ドル/1 炭素トン削減）	90	129	21	21

（注）チリの研究では 1997 年換算レートでのドル表示、韓国の研究では 1999 年換算レートでのドル表示である。

両研究とも大都市圏を対象としたものであり、大気汚染物質としては PM に着目し、3.2.2 に記したような積み上げ型の手法で推計作業を行った結果、1 炭素トン削減あたり副次的便益は、チリでは 90～129 米ドル、韓国では 21 米ドルとなった。

また、地域積み上げ型の特徴を活かして、対策の種類別に図 3-4 と同様の費用便益比を示していることもチリでの研究の大きな特徴である。たとえば、燃料転換では地球温暖化対策の総

費用とほぼ同程度の副次的便益が得られるのに対し、省電力対策では総費用は負（電力費用の節約上のメリットが大）であるものの副次的便益（大気汚染対策上のメリット）は燃料転換に比べて少ないことが示されており、行政関係者にとって有用かつ具体的な示唆を与えている。

他方、韓国での研究は、このようなレベルまで対策別に詳細な分析は行っていないが、韓国環境省担当官などが参加した成果発表ワークショップにおいて、各部門・分野別の対策ごとにその費用と副次的効果・便益との関係を示してほしいとの要望が政策担当者よりだされており、政策形成上、個別対策・技術に着目した分析のニーズが高いことが分かる。

### 3.3.4 先進国および開発途上国に対する副次的効果・便益推計の政策的含意

#### 3.3.4.1 先進国・開発途上国共通の視点

地球温暖化対策の実施に係る政策決定の際に、直接便益のみならずその副次的便益も勘案して判断する効果としては、3.1で述べた

- 後悔しない対策(No-Regret Policy)の範囲を拡大すること

に加え、

- 短期的に発現する便益の提示により対策を受け入れやすくすること

- 排出量取引より国内対策を重視する方向に誘導すること

もあげることができる。

すなわち、温暖化対策のもたらす直接便益（たとえば省エネルギーによる燃料代の節約）に加え、副次的便益（たとえば大気汚染軽減による呼吸器疾患に係る医療費の節約）も勘案することにより、費用の高い対策まで「後悔しない対策」の範疇に入ることになり、その分地球温暖化対策の促進に寄与することとなる。

また、これまでは直接便益以外の対策実施の動機付けとしては将来世代の地球益に訴えざるを得なかったが、大気汚染軽減等に係る便益を加えることで目の前の現実的な問題を緩和する対策としても位置づけられ、その受け入れが容易になることが期待できる。

さらに、先進国の削減目標を達成する手段を決定する際、対策費用上の合理性を理由に先進国間での排出量取引等のメカニズムに依存する政策判断に傾きがちであるが、相当の副次的便益を有する対策についていえば、この政策判断は国外にこのような副次的便益を逃がしてしまうことにほかならない。副次的便益は、見かけ上の対策費用だけで排出量取引の判断を行うことが、必ずしも総合的にみた国益の増大にならないことを示す根拠となるものと考えられる。

一方、地球温暖化対策の副次的便益を推計し政策形成に活用するにあたっては、いくつかの困難を伴うこととなる。たとえば、大気汚染が喫緊の課題である行政にとっては、直接の大気汚染対策の優先順位が高く、地球温暖化対策自体やその副次的便益を受け入れがたい状況にあることが懸念される。また、実際に適用する場合においても、生命・健康の経済価値への変換方法について多くの課題が残されている。

#### 3.3.4.2 先進国・開発途上国間の国際協力における活用

先進国と途上国の双方から副次的便益への関心が高まる可能性のあるメカニズムとして京都議定書に基づく CDM があげられる。先進国と開発途上国との間の CDM については、図 3-4 に示したように途上国における費用便益比が先進国のそれを上回っており、このメカニズムは活用すべきものであると考える。

たとえば、途上国におけるクリーンな発電施設を整備する事業に先進国が資金協力した場合、先進国にとっては削減された温室効果ガスの一部をクレジットとして受け取ることができる<sup>21)</sup>。協力相手の途上国が近隣の場合は、当該先進国に対する越境大気汚染の軽減にも繋がり得るものである。

また、途上国にとっては、直接便益と副次的便益の双方の観点から適切なプロジェクトのポートフォリオを自ら形成し、これを国際社会に示すことにより、官民の国際資金の投資先を総合的な便益を最大化する方向に誘導できる。

### 3.4 副次的便益の推計方法を巡る主な論点

副次的便益を推計するにあたっては、1)考慮する便益・影響の範囲と表現方法、2)参照ケースの設定、3)大気拡散の予測と健康影響の経済評価、が問題となる場合が多い。これらの問題については Davis *et al.* <sup>2)</sup>、Krupnick *et al.* <sup>4)</sup>などによって論じられているが、3.4 ではこれらに加え副次的便益推計に係る諸問題について検討を行う。

#### 3.4.1 考慮すべき便益・影響の範囲と表現方法

地球温暖化対策の副次的便益には、3.1 にあげたように人の健康面、生態系保護面、社会経済面の多くの要素が含まれうる。一般論としては、可能な限り広範な便益や影響を考慮するこ

とが望ましい。たとえば、交通部門における副次的便益として大気汚染物質による健康影響面に焦点を絞れば、燃料質や燃費の改善が当面効果の高い対策として抽出されるが、渋滞緩和や交通事故減少などの便益にまで視野を広げれば、公共交通機関活用など交通手段の変更といった交通システム対策の重要性も増してくる。

しかしながら、副次的便益の範囲を広げすぎることによる因果関係の希薄性や推計結果への信頼性の低下も問題となる可能性がある。したがって、地球温暖化対策の副次的便益として当面考慮すべき範囲は、実際の行政での活用上は、副次的便益が大きいと想定でき定量化しやすいもの、すなわち、大気汚染分野とすることが適切であると筆者は考える。

大気汚染分野の副次的便益にあっても、人間への健康影響を回避する便益、生態系への影響を回避する便益、文化財等への影響を回避する便益などその範囲は広く、地域特性や適用可能性の観点から定義を明確にしておく必要がある。また、考慮する大気汚染物質の種類によっても対策間の副次的便益の大小が異なってくることに留意すべきである。

つぎに、大気汚染分野を中心とした範囲に特定した副次的便益について、大気汚染物質の排出量削減から健康被害低減による副次的便益の発生といった段階を踏まえ、政策的に有用な表現方法を確認しておく必要がある。

具体的な表現の仕方としては、

- 1) 定性的表現（発生が予想される便益の程度を項目ごとに＋、－などで表現）
- 2) 物理量表現（副次的に削減される汚染物質排出量や削減率で表現）
- 3) 貨幣価値換算（発生した副次的効果を貨幣換算して表現）

の3種類に大別できる<sup>22)</sup>。

実際には政策ニーズと適用する地域の特性や受容性を勘案して、最も適当な表現方法を選択することが肝要である。

なお、わが国においてこのような手法を行政判断に適用する場合には、健康影響や生態系影響を貨幣価値に換算して受け入れる素地が十分でないことから、当面は、地球温暖化対策による大気汚染物質の排出削減量（副次的効果）を推計評価することから着手することが妥当であると考えられる。

### 3.4.2 参照ケースの設定

ある地球温暖化対策を実施した際の副次的便益を推計するためには、当該対策を含まない参照ケース（ベースライン）を設定し、温室効果ガス関連の直接便益とともに副次的な便益を推

計することになるが、参照ケースの設定次第でその副次的便益は大きく異なる。

たとえば、参照ケースに将来の排出規制強化の計画をより多く織り込めば、地球温暖化対策実施による将来の大気汚染軽減上の副次的便益はより少なくなる。また、機器ストックの更新率、燃料の質、触媒の劣化率など技術的な前提を参照ケースにどのように織り込むのかも、便益推計に大きな影響を与える。

一方、経済成長率などマクロ経済上の前提は、一般的には副次的便益の推計への影響はないものと考えられるが、産業の業種分類や地域分布、さらには人口の地域分布は、重化学工業からサービス産業へのシフト効果や汚染物質の地域住民への暴露量の変化を検討するうえで重要な要素である。

### 3.4.3 大気拡散の予測と健康影響の経済評価

大気汚染物質が排出・拡散後、地表に着地する濃度を正確に予測するためには、排出源高さ、排出物質量・速度、気象条件、周辺の地形等の条件を把握する必要があるが、大都市圏とした地域積み上げ研究において、多数の発生源からの排出・拡散をこのような方法によりシミュレートすることは困難な場合が多い。

これに代わる簡易予測方法として、よく使用されるのがボックスモデルである。これは、排出量と地表濃度が線形関係にあると仮定し、過去の発生源データとそのときの地表濃度実測値の関係からモデルを作成して、将来の状況を予測するものである。

詳細な拡散シミュレーションモデルを用いるのか、簡易なボックスモデルとするのかの判断は、最終的なアウトプットたる副次的便益に求められる精度次第であり、たとえば対策間の副次的便益の比較を主目的とするなら、簡易モデルによる濃度予測で十分と考えられる。

予測された大気汚染物質による健康影響を評価するためのエンドポイントとしては、死亡と疾病発生に大別される。これらの影響を経済評価するため、給与・賃金などの実績から推計する生産性の損失額、治療費、入院費など所要の医療費、仮想評価法（CVM）により計測する影響回避のために支払う意思のある額（WTP）などにより貨幣価値に換算するのが通常の方法である。

しかしながら、生命や健康を貨幣価値に置き換えることに馴染みのない国・地域で、このような手法を適用する際には注意を要する。また、わが国のように大気汚染を巡り沿道住民等から行政に対する訴訟が継続している場合も、行政側としてこのような経済評価結果を用いて政策決定することには抵抗感があることも否定できない。

さらに、途上国を対象とした研究の場合、当該国の WTP に関する情報がないことを理由に欧米諸国で用いられている WTP をベースに国民 1 人あたり GDP の比などを用いて補正しているケースが多いが、この補正のあり方（途上国の人の生命価値は、先進国の人より安いのか）を巡っても国際的な議論が続いており、この点にも留意が必要である。

### 3.5 まとめ

本章では、地球温暖化対策の有する副次的便益に関し、その概念を明らかにしたうえで推計方法を整理し、マクロ経済モデルを用いたトップダウン推計に比べて地域積み上げ型（ボトムアップ型）のほうに対策メニュー別の詳細な副次的効果や便益を推計するのに適していることを示した。

つぎに、地球温暖化対策を実施することによる大気環境関連の副次的便益の発現に関する研究動向をレビューし考察を進めた結果、以下のことが明らかになった。

- 1) トップダウン型の推計では対策メニューとして炭素税のみを考慮しているが、ボトムアップ型推計では多様な対策メニューを織り込んでいる。
- 2) 1 炭素トン削減あたり 8～800 米ドルの費用を要する地球温暖化対策を実施することで、5～500 米ドルの副次的便益の発生が推計されている。
- 3) 対策費用に対する便益の比は 0.1～3.7 となっており、先進国を対象とした推計では 1 以下、途上国を対象とした推計では 1 以上となっている。
- 4) 近年の複数国を対象とした研究プロジェクトでは、地域積み上げ型の推計により対策・技術別の副次的効果・便益の分析が進められ始めており、これらの成果は政策形成に大きく役立つ。
- 5) 地球温暖化対策の副次的便益を政策活用するうえで、先進国と開発途上国で共通したメリットとして、①「後悔しない対策」の範囲拡大、②短期的かつ身近な便益のアピールによる政策支持層の拡大・強化、③排出量取引より国内対策強化への誘導、の 3 点があげられる。
- 6) 先進国と途上国の間の国際協力面での活用場として、京都議定書に基づくクリーン開発メカニズム（CDM）があり、本メカニズムにおいて副次的便益を考慮することにより両者の便益を増やせる可能性がある。

さいごに、地球温暖化対策の副次的便益の推計方法について、考慮すべき便益の範囲と表現方法、参照ケース（ベースライン）の設定、大気拡散の予測と健康影響の経済評価、の 3 つの

観点から検討し、

- 推計手法の確実性などから判断して、当面は大気汚染分野を中心とした副次的便益の推計を進めることが適当であること
- 健康影響の貨幣換算（経済評価）には困難な問題も多く、地球温暖化対策による大気汚染物質の排出削減量（副次的効果）による表現が適当な場合もあること
- 参照ケースにどこまで将来の排出規制強化プログラム等を織り込むのかを明確化していく必要があること

など、研究遂行上の留意点等を整理した。



## <文献>

- 1) IPCC 第3作業部会, 地球温暖化の経済・政策学, 420pp., 1997.
- 2) Davis, D. L., A. Krupnick, G. McGlynn, Ancillary Benefits and Costs of Greenhouse Gas Mitigation. Ancillary Benefits and Costs of Greenhouse Gas Mitigation, Proceedings of an Expert Workshop (OECD et al), Paris, 41pp., 2000.
- 3) Aunan, K., Reduced damage to health and environment from energy saving: A methodology for integrated assessment applied to a case study in Hungary, CICERO Working Paper 1998:13, Oslo, 47pp., 1998.
- 4) Krupnick, A., D. Burtraw, A. Markandya, The Ancillary Benefits and Costs of Climate Change Mitigation: A Conceptual Framework. Ancillary Benefits and Costs of Greenhouse Gas Mitigation, Proceedings of an Expert Workshop (OECD et al.), Paris, 42pp., 2000.
- 5) Dessus, S., D. O'Connor, Climate Policy Without Tears: CGE-Based Side effects Estimates for Chile. OECD Development Centre, Technical Papers No. 156, Paris, 48pp., 1999.
- 6) Brendemoen, A., H. Vennemo, A Climate Treaty and the Norwegian Economy: A CGE Assessment. *The Energy Journal*, 15(1), 77-91, 1994.
- 7) Alfsen, K. H., H. Birkelund, M. Aaserud, Impacts of an EC Carbon/Energy Tax and Deregulating Thermal Power Supply on CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> Emissions. *Environmental and Resource Economics* 5, 165-189, 1995.
- 8) Barker, T., K. E. Rosendahl, Ancillary Benefits of GHG Mitigation in Europe: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and PM10 reductions from policies to meet Kyoto targets using the E3ME model and EXTERNE valuations. Ancillary Benefits and Costs of Greenhouse Gas Mitigation, Proceedings of an Expert Workshop (OECD et al.), Paris, 39pp., 2000.
- 9) Abt Associates and Pechan-Avanti Group, Co-Control Benefits of Greenhouse Gas Control Policies. Prepared for Office of Policy, U.S. Environmental Protection Agency, Contract No. 68-W4-0029, Washington, D.C., 25pp., 1999.
- 10) Scheraga, J. D., N. A. Leary, Costs and side benefits of using energy taxes to mitigate global climate change. Proceedings of the 86<sup>th</sup> Annual Conference, National Tax Association, Washington, D.C., 1994.
- 11) Cifuentes, L. A., E. Sauma, H. Jorquera, F. Soto, Preliminary Estimation of the

- Potential Ancillary Benefits for Chile. Ancillary Benefits and Costs of Greenhouse Gas Mitigation, Proceedings of an Expert Workshop (OECD *et al.*), Paris, 25pp., 2000.
- 12) Aunan K., J. Fang, G. Li, H. M. Seip, H. Vennemo, Co-Benefits from CO<sub>2</sub>-emission reduction measures in Shanxi, China- a first assessment. CICERO working Paper 2000:7, Oslo, 52pp., 2000a.
  - 13) Wang, X., K. R. Smith, Near-term Health Benefits of Greenhouse Gas Reductions: A Proposed Assessment Method and Application in Two Energy Sectors of China. Department of Protection of the Human Environment, WHO, Geneva, 62pp., 1999.
  - 14) Caton, R., S. Constable, Clearing the Air: A Preliminary Analysis of Air Quality Co-Benefits from Reduced Greenhouse Gas Emissions in Canada. David Suzuki Foundation, Vancouver, 23pp., 2000.
  - 15) Aunan, K., H. A. Aaheim, H. M. Seip, Reduced Damage to Health and Environment from Energy Saving in Hungary. Paper presented at Expert Workshop on the Ancillary Benefits and Costs of Greenhouse Gas Mitigation Strategies, Resources for the Future, Washington, D. C., 15pp., 2000b.
  - 16) Burtraw, D., A. Krupnick, K. Palmer, A. Paul, M. Toman, and C. Bloyd, Ancillary Benefits of Reduced Air Pollution in the US from Moderate Greenhouse Gas Mitigation Policies in the Electricity Sector. Discussion Paper 99-51, Resources for the Future, Washington, D.C., 19pp., 1999.
  - 17) 島田 幸司・松岡 譲, 地球温暖化対策の副次的便益に関する一考察, 環境情報科学, 32 巻 1 号(掲載予定), 2003.
  - 18) Eskeland G. S., J. Xie, Acting Globally while Thinking Locally: Is the Global Environment Protected by Transport Control Programs? The World Bank, 19pp., 1998.
  - 19) Pearce, D. W., W. R. Cline, A. N. Achanta, S. Frankhauser, R. K. Pachauri, R. S. J. Tol, P. Vellinga, The Social costs of climate change: Greenhouse damage and the benefits of control, Climate Change 1995, Economic and social dimensions of climate change, Cambridge University Press, 151-192, 1996.
  - 20) USEPA, Developing Country Case-Studies: Integrated Strategies for Air Pollution and Greenhouse Gas Mitigation, Progress Report for the International Co-Control Benefits Analysis Program, 104pp., 2000.
  - 21) Ipsen, D., R. Rosch, J. Scheffran, Cooperation in global climate policy: potentialities and

limitations, *Energy Policy* 29, 315-326, 2001.

- 22) Pearce, D. W., Policy Frameworks for the Side Effects of Climate Change Policies, Ancillary Benefits and Costs of Greenhouse Gas Mitigation, Proceedings of an Expert Workshop (OECD *et al.*), Paris, 44pp., 2000.

## 第4章 地球温暖化対策の副次的効果推計モデルの開発とわが国への適用

第3章でレビューした既往の研究は、炭素税などマクロ施策を導入した場合の二酸化硫黄（以下、SO<sub>2</sub>）や窒素酸化物（以下、NO<sub>x</sub>）の排出総量の低減に係る副次的効果を推計しているものか限定的な分野における副次的効果の簡易な推計がほとんどであり、ある地域全体における副次的効果とそれをもたらした地球温暖化対策別の副次的効果の発現状況を同時に分析したものはほとんどない。

一方、わが国では、地球温暖化対策と大気環境対策の統合についての関心は低く、当面の課題としては、温室効果ガスと大気汚染物質の統合目録システムを整備し、これを基礎とした推計ツールを開発することにより、日本全国や地方公共団体レベルでの副次的効果を対策別の特徴も含めて具体的に推計することが急務であろう。

そこで本章では、上記の統合目録システム整備を念頭におきつつ、地域積み上げ型の地球温暖化対策副次的効果推計モデル ALICE (Ancillary-effects estimating model for Local governments to Improve their Comprehensive Environment)<sup>1),2)</sup>を開発する。

さらにこのモデルを大都市圏を抱える地域に適用し、当該地域の地球温暖化対策推進計画を実施した場合の大気汚染物質の排出低減に及ぼす副次的効果を推計した。これらの検討を踏まえ、地球温暖化防止と大気環境保全を統合した政策立案への本モデルの活用方を提示する。ここでの副次的効果の指標は、わが国大都市の大気汚染状況を勘案して NO<sub>x</sub>と粒子状物質（以下、PM）の排出削減量とし、個々の地球温暖化対策別の副次的効果分析やこれら効果発現の要因分析などにも言及する。

### 4.1 地域積み上げ型モデルを開発する背景・意義

第3章のレビュー分析において、地球温暖化対策の副次的効果・便益を具体の政策形成に反映させるためには、個別の対策・技術ごとに副次的効果・便益を明らかにする重要性が明らかになり、わが国の経済社会活動やそれらを支えるエネルギー使用実態に沿って機器・技術ごとに積み上げることが可能なモデルを開発することがまず必要である。

また、わが国の大気汚染の実態をみると、SO<sub>2</sub>濃度は環境基準を満足している一方、大都市圏を中心に NO<sub>x</sub>や PM については深刻な汚染が継続している。機器や燃焼条件に排出性状が大きく依存するこれら大気汚染物質の排出量を的確に推計するためには、やはり機器・技術ごとに積み上げられるモデルが必要である。

さらに、わが国の多くの大都市圏では、臨海部に重化学工業が立地し、これに繋がる幹線道路を中心とした交通活動と後背地における民生系の活動が行われているが、同じ地球温暖化対策を実施しても、その副次的効果の発現状況は地域内でも異なってくることが予想される。このような地域内の副次的効果発現状況の差異を把握するためには、発生源や人口の分布データとのリンクをもちやすい地域積み上げ型モデルが必要になる。

以上の背景・事情を踏まえ、本章では、自治体の地球温暖化対策プログラムの組み込みを念頭に置き、かつ政策担当者とのインターフェースの容易性に配慮した地域積み上げ型モデルを開発することとする。

## 4.2 推計モデルの構成

開発したALICEは、温室効果ガスとして二酸化炭素(以下、CO<sub>2</sub>)、大都市圏を中心に深刻な大気汚染物質としてNO<sub>x</sub>、PMを取り上げ、これらの排出量の推計を行い、目標年において地球温暖化対策の効果を分析するためのツールである。

排出量の推計は図4-1に示したフローチャートに従った。図4-1において、機種・年式別保有率とはエネルギーサービス技術の稼働年数別の割合を表す。稼働状況とは、使用時間や使用日数といったエネルギーサービス技術の使用

方法を表す。活動量とは、たとえば生産量や走行量のようなエネルギー消費の駆動力となるものである。

本モデルの特徴の1点目は、機種・年式別原単位と保有率を乗じることで排出原単位を推計したことである。これにより、ある年に保有されているエネルギーサービス技術の平均的な原単位の値を求めることが可能となる。2点目は地球温暖化対策に、実際に市民アンケートや事業所の自主行動計画を反映させたことである。

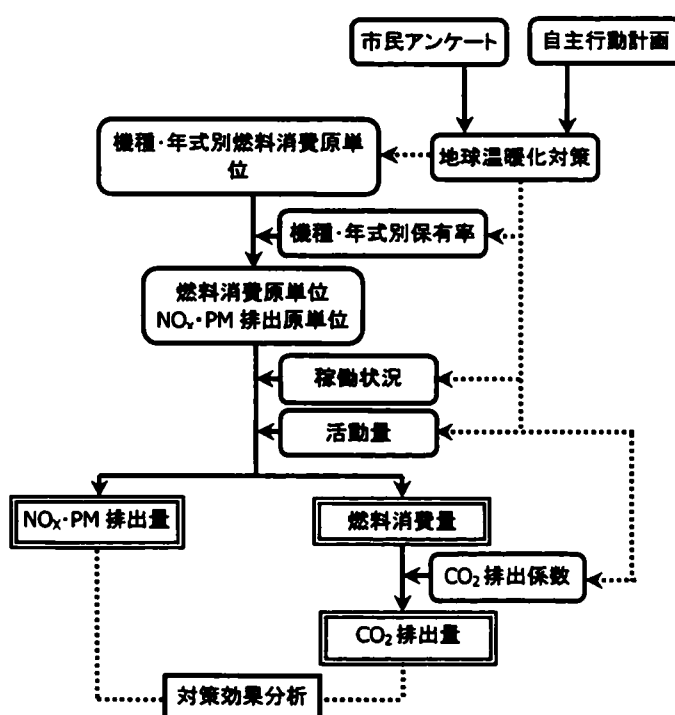


図 4-1 モデルの推計チャート

### 4.3 推計モデルの詳細

まず本モデルにおける排出量推計式について記述する。ここで  $m$  はガス種、 $i$  は地域、 $j$  はサービス種、 $l$  は機種、年式別のエネルギー機器類（投入エネルギーをサービスに変換するもの）、 $k$  はエネルギー種、 $T_j$  はサービス種  $j$  の  $l$  の集合、 $F$  はエネルギー種の集合を表す。サービス種とは冷暖房や照明のように、エネルギーを消費することによって提供されるサービスのことである。地域  $i$ 、サービス種  $j$  からのガス  $m$  の排出量  $Q_{j,i}^m$  は式(4-1)で表される。

$$Q_{j,i}^m = \sum_{l \in T_j} \left( \Lambda_{l,i}^m \cdot X_{l,i} \left\{ \sum_{k \in F} C_{k,l}^m \cdot E_{k,l} \right\} \right) \quad (4-1)$$

ここで  $Q_{j,i}^m$  は地域  $i$ 、サービス種  $j$  からのガス  $m$  の排出量、 $\Lambda_{l,i}^m$  は地域  $i$  での機器類  $l$  のガス  $m$  の処理残存率（1－除去率）、 $X_{l,i}$  は地域  $i$  での機器類  $l$  の総運転量、 $C_{k,l}^m$  は機器類  $l$  にてエネルギー  $k$  を 1 単位消費したときに排出するガス  $m$  の量、 $E_{k,l}$  は機器類  $l$  を 1 単位運転するときに消費するエネルギー  $k$  の量を表す。ここで  $\Lambda_{l,i}^m$ 、 $C_{k,l}^m$ 、 $E_{k,l}$  は、機器類  $l$  の年式を考慮した平均的な性能のことである。ただし本章での計算例では、エネルギー機器を導入したのちに処理残存率を変更するケースはなかったので、脱硝や集じんの効果は  $C_{k,l}^m$  に含めて考えることとし、 $\Lambda_{l,i}^m$  は 1 と取り扱っている。

一方、式(4-1)の  $X_{l,i}$  は地域  $i$  でのサービス種  $j$  の需要量と密接に結びついている。地域  $i$  にて機器類  $l$  の 1 単位の運転によって供給されるサービス種  $j$  の供給量を  $A_{j,l}$  とすると、地域  $i$  でのサービス種  $j$  の需要量  $D_{j,i}$  は式(4-2)で表される。 $A_{j,l}$  は、機器類  $l$  の年式を考慮した平均的な性能のことであるが、本論文では  $A_{j,l}$  は時間によらず、基準年での値を使用した。

$$D_{j,i} = \sum_{l \in T_j} \Psi_l \cdot A_{j,l} \cdot X_{l,i} \quad (4-2)$$

ここで  $\Psi_l$  は機器類  $l$  のサービス供給効率である。

機器類  $l$  は、時間とともに退役、更新が行われる。計算開始年を  $T$  とし、地域  $i$ 、年  $t$  に導入された機器類  $l$  の年  $T$  におけるストック量を  $s_{l,i}^{T,t}$  とすると、年  $T$  における地域  $i$ 、機器類  $l$  の総ストック量  $S_{l,i}^T$  は式(4-3)で表される。

$$S_{l,i}^T = \sum_t s_{l,i}^{T,t} \quad (4-3)$$

つぎに、地域  $i$ 、年  $t$  に導入された機器類  $l$  の計算開始年の翌年  $T+1$  におけるストック量  $s_{l,i}^{T+1,t}$  は式(4-4)で表される。

$$s_{l,i}^{T+1,t} = s_{l,i}^{T,t} \cdot f_l(T-t) \quad (4-4)$$

ここで、 $f_l(T-t)$ は導入された後  $T-t$  年の機器類  $l$  が次年に生残する率を表す。

よって、年  $T+1$ 、地域  $i$ 、機器類  $l$  の新規参入量を  $r_{l,i}^{T+1}$  とすると、年  $T+1$  における地域  $i$ 、機器類  $l$  の総ストック量  $S_{l,i}^{T+1}$  は式(4-5)で表される。

$$S_{l,i}^{T+1} = \sum_t s_{l,i}^{T,t} \cdot f_l(T-t) + r_{l,i}^{T+1} \quad (4-5)$$

式(4-4)、(4-5)を繰り返し計算することで機器類のストック量の時間的変化を計算することができる。

機器類の性能は時間によって変化する。機器類のストック性能も時間によって変化する。ストック性能とはある機器類の性能を年式を通して平均化したものである。機器類の性能には  $A_{li}^m$ 、 $C_{kl}^m$ 、 $E_{kl}$ 、 $A_{jl}$  があるが、上述のように  $A_{li}^m$ 、 $A_{jl}$  は一定としたことから、ここでは  $C_{kl}^m$ 、 $E_{kl}$  について説明する。年  $t$  に導入された機器類  $l$  にてエネルギー  $k$  を 1 単位消費したときの排出ガス量を  $c_{kl}^{m,t}$  とすると、年  $T$  における機器類  $l$  の平均的な排出ガス量  $C_{kl}^{m,T}$  は式(4-6)で表される。

$$C_{kl}^{m,T} = \frac{\sum_t c_{kl}^{m,t} \cdot s_{l,i}^{T,t}}{\sum_t s_{l,i}^{T,t}} \quad (4-6)$$

同様に年  $t$  に導入された機器類  $l$  を 1 単位運転したときのエネルギー  $k$  の消費量を  $e_{kl}^t$  とすると、年  $T$  における機器類  $l$  の平均的なエネルギー消費量  $E_{kl}^T$  は式(4-7)で表される。

$$E_{kl}^T = \frac{\sum_t e_{kl}^t \cdot s_{l,i}^{T,t}}{\sum_t s_{l,i}^{T,t}} \quad (4-7)$$

式(4-6)から、年  $T+1$  に導入する機器類  $l$  の排出ガス量を  $c_{kl}^{m,T+1}$  とすると、年  $T+1$  における機器類  $l$  のストック量の平均的な排出ガス量  $C_{kl}^{m,T+1}$  は式(4-8)で表される。

$$C_{kl}^{m,T+1} = \frac{\sum_t c_{kl}^{m,t} \cdot s_{l,i}^{T,t} \cdot f_l(T-t) + c_{kl}^{m,T+1} \cdot r_{l,i}^{T+1}}{\sum_t s_{l,i}^{T,t} \cdot f_l(T-t) + r_{l,i}^{T+1}} \quad (4-8)$$

同様に式(4-7)から、年  $T+1$  に導入する機器類  $l$  のエネルギー消費量を  $e_{kl}^{T+1}$  とすると、年  $T+1$  における機器類  $l$  のストック量の平均的なエネルギー消費量  $E_{kl}^{T+1}$  は式(4-9)で表される。

$$E_{k,l}^{T+1} = \frac{\sum_t e_{k,l}^t \cdot s_{l,i}^{T,t} \cdot f_l(T-t) + e_{k,l}^{T+1} \cdot r_{l,i}^{T+1}}{\sum_t s_{l,i}^{T,t} \cdot f_l(T-t) + r_{l,i}^{T+1}} \quad (4-9)$$

式(4-8), (4-9)を繰り返し計算することで時間変化による機器類の平均的な性能を計算できる。

また、現状の総運転量は以下のように求める。年  $T$ 、地域  $i$ 、機器類  $l$  の運転率を表す係数を  $\alpha_{l,i}^T$  とすると、年  $T$  における地域  $i$ 、機器類  $l$  の総運転量  $X_{l,i}^T$  は式(4-10)で表すことができる。

$$X_{l,i}^T = \alpha_{l,i}^T \cdot S_{l,i}^T \quad (4-10)$$

ここでは  $\alpha_{l,i}^T$  は  $T$  によらない係数とし、基準年での値を使用した。

なお、本モデルにおけるエネルギー消費原単位は、あるサービス種について1単位運転する際に必要なエネルギー量とする。また、地域  $i$ 、サービス種  $j$  からのエネルギー消費量  $TE_{j,i}$  は式(4-11)で表される。

$$TE_{j,i} = \sum_{l \in T_j} \sum_{k \in F} E_{k,l} \cdot X_{l,i} \quad (4-11)$$

以上より、地域  $i$ 、サービス種  $j$  のエネルギー消費原単位  $EF_{j,i}$  は、地域  $i$ 、サービス種  $j$  からのエネルギー消費量を地域  $i$  でのサービス種  $j$  に係る総運転量で除することで求められる。これを式(4-12)に示す。

$$EF_{j,i} = \frac{\sum_{l \in T_j} \sum_{k \in F} E_{k,l} \cdot X_{l,i}}{\sum_{l \in T_j} X_{l,i}} \quad (4-12)$$

## 4.4 推計モデルを適用した地域の背景・特徴と適用の詳細

### 4.4.1 適用した地域の背景・特徴

4.2および4.3に記述した地球温暖化対策の副次的効果推計モデル(ALICE)を愛知県(以下、県)を対象地域としてこのモデルを適用した。県を適用地域とした背景は、

- 1) 産業、交通、民生の各部門で多岐にわたる経済社会活動が存在し、これに伴う温室効果ガス、大気汚染物質の排出量も相当程度あることから、県での適用性が確認されれば、全国の地方公共団体への展開の可能性が高いこと。



- 2) 2000年に県は地球温暖化対策推進計画の改訂作業を行ったが、当該計画の策定作業と連動して、副次的効果を推計するための諸情報を入手することが容易であったこと。

の2点である。

#### 4.4.2 適用の詳細

##### 4.4.2.1 推計の対象とした排出ガスおよび社会経済活動ならびに推計年および設定ケース

4.3で記述したモデルを使用して県での地球温暖化対策時における温室効果ガスおよび大気汚染物質の排出量推計を行った。本章では、ガス種 $m$ を3種( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , PM), 地域 $i$ を103市区町村, サービス種 $j$ を産業, 交通, 家庭, 業務の4部門別に区分し全部で60サービス種, 機器類 $l$ は124種, エネルギー種 $k$ は47種(ガソリン, 都市ガス等)とした。

各部門の推計年は表4-1に示すように、原則として、基準年を1990年、目標年を2010年とした。さらに2010年については、とくに地球温暖化対策を行わなかった場合の「参照ケース」と地球温暖化対策を実施した「対策ケース」の排出量推計を行った。

産業部門では、 $\text{NO}_x$ , PM排出量算定のベースとした大気汚染物質排出量総合調査<sup>3)</sup>が、1990年は抽出調査しか行っておらず十分なデータが利用可能でないことから、悉皆調査を実施した1989年を基準年としたものである。また、各部門の最新年についても同様に入手データの年度が異なるためである。なお、最新年の排出量は、将来推計の開始年であるとともに、本モデルの妥当性検証のための基礎資料となるものである。

表 4-1 排出量推計年

部門	現状		将来
	基準年	最新年	目標年
産業	1989年	1996年	2010年
交通	1990年	1994年	2010年
家庭	1990年	1997年	2010年
業務	1990年	1997年	2010年

##### 4.4.2.2 基準年・最新年における排出量推計

まず、基準年・最新年における排出量推計を式(4-1)を用いて行った。そのさい、各機器類の運転量である  $X_{li}$  は式(4-10)を用いて計算した。ただし、交通部門では道路交通センサス<sup>4)</sup>から計算した走行量を用いて直接  $X_{li}$  を設定した。家庭/業務部門では1999年10月に行われた県の地球温暖化対策地域推進計画<sup>5)</sup>（以下、「県計画」という。）に基づく事業者、県民、市町村を対象としたアンケート（調査数4088件、有効回答数2686件）（附録Ⅱ参照）から得られた機器類の使用状況を用いて  $\alpha_{li}$  を設定した。

式(4-1)の  $C_{ki}^m$ 、 $E_{ki}$  は、機器類  $i$  の性能を表す係数であるが、年式により変化するため式(4-6)、(4-7)によりストック平均値を求め、それぞれの値を式(4-1)に代入した。式(4-6)、(4-7)に用いた  $s_{li}$  は、交通部門では運輸省が調査している自動車保有車両数<sup>6)</sup>を用い、家庭/業務部門では県計画<sup>5)</sup>に基づくアンケートから得られた機器類の保有率を世帯数や業務用床面積の現状値に乗じて設定した。

また、 $c_{ki}^m$ 、 $e_{ki}$  は、交通部門では窒素酸化物総量規制マニュアル（増補改訂版）<sup>7)</sup>と自動車排出ガス原単位および総量に関する調査<sup>8)</sup>、家庭/業務部門ではメーカーの実績値、群小発生源対策検討会報告書<sup>9)</sup>に基づき設定した。このように機器類別に詳細にデータを代入することで排出量推計を行った。

一方、産業部門では大規模な工場・事業所の点源と業種別の中、小規模の排出源を空間スケールでまとめた面源の2種類の排出量を推計した。点源では大気汚染物質排出量総合調査<sup>3)</sup>、面源では石油等消費構造統計表<sup>10)</sup>を用いて式(4-11)のエネルギー消費量  $TE_{ji}$  を求めた。また、 $C_{ki}^m$  は「気候変動に関する国際連合枠組み条約」に基づく日本国報告書<sup>11)</sup>と窒素酸化物総量規制マニュアル（増補改訂版）<sup>7)</sup>に基づき設定した。これらに乗じることで排出量を推計した。

#### 4.4.2.3 モデルの現況再現性について

本モデルによる現状の最新年におけるCO<sub>2</sub>排出量の推計値（表4-7参照）を県が推計した現状の最新年値<sup>5)</sup>と比較したものを表4-2に示す。

排出量の差を県推計値で除したものは、産業部門では+1.3%、交通部門で-31.9%、家庭部門で-0.2%、業務部門で-0.6%となっており、固定発生源では本モデルの現況再現性は高い。

表 4-2 最新年における CO<sub>2</sub> 排出量の  
本モデルと県推計の比較(ktCO<sub>2</sub>/年)

部門	本モデル	県推計	差/県推計
産業	41309	40784	1.3%
交通	8489	12464	-31.9%
家庭	9354	9377	-0.2%
業務	6829	6871	-0.6%
合計	65980	69496	-5.1%

なお、交通部門において県の現状推計値より 3 割程度少ない推計値となっているが、これは本研究では道路路線別に CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM の排出量を同時に推計するため、CO<sub>2</sub> 排出量推計に速度帯別の燃料消費率を用いるなど、地域全体をマクロに計算した県推計と異なる手法によったことに起因するものである。地域全体の燃料消費量からマクロに推計した値と速度別燃料消費率を用いて路線ごとに積み上げた値が異なることについては、以前より知られており、自動車排ガスに係る原単位整備上の課題といえる。

また、NO<sub>x</sub> の現状最新年値（表 4-7 参照）についても県が推計した現状値と比較可能な基準年(1990 年)で比較を行ってみると、産業部門で+7.9%，交通部門で-2.9%となっている。産業部門における差異は、群小発生源からの排出量推計のための基礎データについて、県推計の現状値ではアンケート調査に基づいているのに対し本章では石油等消費構造統計表<sup>10)</sup>から推計したことなどに起因するものである。

#### 4.4.2.4 サービス需要量の将来値の設定

目標年における地域  $i$  でのサービス種  $j$  の需要量  $D_{j,i}$  については県計画<sup>5)</sup>の 2010 年計画値に基づき設定している。需要量は機器類の総運転量を制約するものである。現状から 2010 年までの間の値に関しては線形補完したものを用いた。表 4-3 にサービス需要量の設

表 4-3 モデルの主要な前提条件

前提条件	単位	基準年	最新年	目標年
人口	千人	6691	6944	7250
第3次産業就業者数	千人	2260	2465	2794
世帯数	千世帯	2174	2439	2890
業務用床面積	千m <sup>2</sup>	63812	76321	90266
旅客走行量	百万台・km	16597	19702	27475
貨物走行量	百万台・km	13323	13383	14153
鉄鋼生産指数	—	100	98.3	99

定のための主要な前提条件を示す。

#### 4.4.2.5 地球温暖化対策の設定

参照ケースでは、機器類の性能はエネルギー消費面では最新年から一定とし、 $\text{NO}_x$ 等の排ガス性能は実施が予定されている規制の基準値とした。また、地球温暖化対策の実施率は現状のまま、新たな省エネルギー機器類の導入はないものと設定した。

一方、対策ケースに取り込んだ地球温暖化対策については、表 4-4 に示すように、「計画に基づく対策」と 2.2.3.4 に今後モデルに取り込むべき重要課題として指摘した「各主体の心がけ対策」に分類し、それぞれ 3 つのレベルを想定した。レベルが上がるにしたがって、計画目標値の達成率および心がけ対策の実施率が向上する。レベルの設定は 1999 年 10 月に行われた県計画<sup>5)</sup>に基づくアンケート（附録Ⅱ参照）をもとに作成した。「計画に基づく対策」とは、改正省エネルギー法<sup>12)</sup>による規制、県計画<sup>5)</sup>、事業所や業種別の取組計画を含むものであり、これに基づく具体的な対策内容を部門別にみると以下のとおりである。

表 4-4 設定した対策レベルの概要

レベル	計画に基づく対策	各主体の心がけ対策
1	目標値の約 4 割を実施	アンケート結果の「いつも実施」と同様の実施率
2	目標値の約 7 割を実施	「今後取り組む」と回答した全主体が実施
3	目標値を達成	レベル 2 よりさらに 10%程度実施率が向上

産業部門では、県計画<sup>5)</sup>に基づく事業所へのアンケート結果から 2010 年におけるエネルギー消費または二酸化炭素排出に関する削減計画を設定した。調査を行わなかった事業所については業種別の環境自主行動計画<sup>13)</sup>に従うものとし、これにも該当しない事業所については、改正省エネルギー法<sup>12)</sup>に基づき年率 1%のエネルギー消費の削減を見込んだ。

交通部門では、自動車の燃費について改正省エネルギー法<sup>12)</sup>の基準値を用いた。また、これら機器類の導入程度については、県のエコエネルギー導入ビジョン<sup>14)</sup>を参考に設定した。なお、 $\text{NO}_x$ 、PM の排出に関しては、中央環境審議会<sup>15)</sup>の答申に基づく規制が参照ケース、対策ケースいずれにも織り込まれるものとした。ただしこうした前提では、燃費が向上することによりエネルギー消費量あたりの  $\text{NO}_x$ 、PM 排出量が見かけ上悪化すること

も生ずる。このほか、交通部門では、参照ケースにおける自動車走行量の推計結果を前提としたモーダルシフト推進といった交通量対策も考慮した。

家庭/業務部門では、高性能機器のエネルギー消費率については改正省エネルギー法<sup>12)</sup>に基づく新基準に則して設定するとともに、これら機器類の導入程度は県計画<sup>5)</sup>に基づき設定した。また、家庭部門では、省エネルギー型住宅、業務部門では県計画<sup>5)</sup>に基づき省エネルギー型ビルへの移行といった対策も考慮した。

全部門に共通する電力の排出係数については、参照ケースでは本地域の電力会社の実績値<sup>16)</sup>をもとに最新年から一定とした。対策ケースでは、CO<sub>2</sub>排出係数は電力業界の自主行動計画に沿って1990年から2割低減させた値を用いた。NO<sub>x</sub>/PM排出係数は1997年から2010年にかけてのCO<sub>2</sub>排出係数低減率に応じて設定した。

つぎに、「各主体の心がけ対策」の一部を表4-5に示す。ここで既実施率とは、すでに実施されている割合、実施期待率とはアンケートにおいて「実施したい」とする回答率に既実施率を加えた率である。

表 4-5 心がけによる地球温暖化対策

部門	地球温暖化対策	既実施率	実施期待率		
			レベル1	レベル2	レベル3
交通	車の急発進を1日10回やめる	37%	73%	87%	96%
	不要な荷物(10kg)を積んだまま走行しない	27%	53%	78%	86%
	乗用車のアイドリングストップを1日5分間実行	33%	67%	86%	94%
家庭	エアコン(暖房)の設定温度を1℃低下	24%	48%	88%	97%
	照明のつけっぱなしをやめる	40%	80%	98%	100%
	天気の良いときは乾燥機を使わない	15%	30%	60%	66%
	シャワーの出しっぱなしをやめる(1日3分間)	26%	52%	94%	100%
業務	暖房の設定温度の適正化	42%	85%	92%	100%
	冷房の設定温度の適正化	42%	84%	91%	100%
	昼休みのパソコンOFF	0%	50%	70%	80%

以上の具体的な地球温暖化対策は、表4-6に示すように各対策に対応するモデルの変数を変化させることで反映させた。表4-6には、主要な対策のレベル2の内容と本章で設定した変数の対応を示す。たとえば自家用乗用ガソリン車の効率向上といったトップランナー機器類の導入対策は機器類の単位運転あたりのエネルギー消費量( $e_{ki}$ )が変化する対策である。また、太陽熱温水器の導入といった省エネ機器類の導入対策は機器類の新規参入量( $r_{ki}$ )が変化するものである。さらに省エネルギー型住宅の建築といった対策は機器類のサービス供給効率( $\eta_i$ )が変化する対策である。以上のように対策と変数を一対一対応させることで地球温暖化対策を行った場合の排出量推計が可能となる。

表 4-6 主要な地球温暖化対策と変数の対応

部門	地球温暖化対策	2010年までの概要（レベル2）	モデル中に 対応する変数
産業	化学部門自主行動計画	エネルギー原単位を90年の7%減	$E_{kl}$
	鉄鋼部門自主行動計画	エネルギー消費量を90年から8%減	$E_{kl}$
	その他製造業部門自主行動計画	エネルギー消費量を90年から7.3%減	$E_{kl}$
交通	自家用乗用ガソリン車の効率向上	95年から20.7%向上	$e_{kl}$
	乗用ハイブリッド車の導入	保有率を0.1%から15.1%に向上	$r_{li}$
	車の急発進を1日10回やめる	実施率を36.7%から87.0%に向上	$\phi_l$
	適正な空気圧で走行	実施率を40%から90%に向上	$\phi_l$
	トラック輸送の鉄道へのシフト	輸送量の4%をシフト	$X_{li}$
家庭	エアコン(暖房)の効率向上	97年から2004年で45%向上	$e_{kl}$
	太陽熱温水器の導入	保有率を6%から22%に向上	$r_{li}$
	暖房の使用時間を一時間短縮	実施率を0%から60%に向上	$\phi_l$
	シャワーの出しっぱなしをやめる（1日3分間）	実施率を26%から94%に向上	$\phi_l$
	総合的な省エネルギー型住宅の建築	新築時の導入率を0%から4%に向上	$\phi_l$
業務	パソコンの効率向上	97年から2005年で115%向上	$e_{kl}$
	照明機器の効率向上	97年から2005年で18%向上	$e_{kl}$
	Hfインバータ照明機器の導入	保有率を13%から59%に向上	$r_{li}$
	暖房の設定温度の適正化	実施率を42%から92%に向上	$\phi_l$
	建築物の省エネルギービル化の推進	新築時の導入率を5%から15%に向	$\phi_l$

#### 4.4.2.6 目標年における排出量推計

目標年・参照ケースの排出量推計は、まず式(4-8)、(4-9)を用いて  $C_{kl}^m$ 、 $E_{kl}$  を計算した。上記 4.4.2.5 で記述したように、 $c_{kl}^m$  は実施が予定されている規制の目標年と基準値に基づき、また、 $e_{kl}$  は最新年から一定と設定した。 $f_l$  については、交通部門ではわが国の「超長期エネルギー需給に関するモデル分析」<sup>17)</sup>に準拠し、自動車保有車両数<sup>18)</sup>を用いてワイブル曲線から計算した値を使用した。家庭/業務部門での  $f_l$  は、機器の寿命までは1とし、その後退役すると0とした。 $r_{li}$  については、現状のストック量から県計画<sup>5)</sup>の保有率目標から計算した目標年のストック量になるように各年度の  $r_{li}$  を設定した。つぎに、上記 4.4.2.4 で需要量の設定を行った後、式(4-2)を解くことで機器類の総運転量  $X_{li}$  を求めた。そして式(4-1)にしたがって排出量を推計した。

目標年・対策ケースの排出量推計は、4.4.2.5 で設定した各地球温暖化対策に対応している変数を変化させ参照ケースと同様に排出量推計を行った。たとえば高性能機器の保有率を変化させる対策では、まず目標年における機器類の保有率を計算し、その値になるように各年度の  $r_{li}$  を設定した。

一方、産業部門では工場・事業所や業種別にエネルギー消費量をもとに排出量を推計す

るほうが妥当と判断し、式 (4-8)、(4-9) によらず、目標年におけるエネルギー消費量などの削減目標を達成するよう  $E_{k,i}$  を直接与えた。

#### 4.5 推計結果と副次的効果等の分析

地球温暖化対策による大気汚染関連の副次的効果を、4.2 および 4.3 で説明したモデルによって 4.4 に示した前提条件等のもとで推計した結果を述べる。

まず部門別および合計での各ガスの将来排出量の推計結果を示すことにより、地球温暖化対策による副次的効果に発現状況を概観したうえで、対策種類別の副次的効果の特徴を分析するとともに、これら各種対策の強度の削減効果に対する感度分析を行う。つぎに、このような副次的効果発現の要因分析を行い、排出削減に大きく寄与する要因を分野別の抽出する。さいごに排出量の増減を大きく左右する活動量や対策の強度に着目した部門別のシナリオ分析を行うとともに、大気汚染物質排出強度の地域分布についても分析を行う。

##### 4.5.1 部門別の排出量推計結果

副次的効果推計モデルを愛知県に適用した計算結果を表 4-7 に示す。

表 4-7 目標年における排出量推計結果

ガス種	部門	基準年	最新年	目標年			
				参照	レベル1	レベル2	レベル3
CO <sub>2</sub> (ktCO <sub>2</sub> /y)	産業	36603	41309	41267	36180	35049	33919
	交通	7444	8489	10680	8934	8490	8081
	家庭	8130	9354	11309	8758	7771	7544
	業務	6009	6829	7554	5587	5101	4825
	合計	58187	65980	70810	59458	56412	54369
NO <sub>x</sub> (t/y)	産業	44214	43847	43802	41812	40489	39165
	交通	40677	43616	27458	25969	25444	24991
	家庭	3827	3898	4749	3929	3436	3336
	業務	2817	2796	3158	2510	2346	2236
	合計	91534	94157	79168	74220	71715	69728
PM (t/y)	産業	7470	6671	6727	6616	6403	6190
	交通	3612	3738	1230	1188	1175	1163
	家庭	220	289	364	250	224	218
	業務	473	571	645	498	462	437
	合計	11775	11269	8966	8552	8264	8008

表 4-7 は基準年、最新年ならびに目標年の参照ケースおよび対策ケースにおける部門別の CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> および PM の排出量推計結果である。発電部門に起因する排出量は、電力消費量に応じて需要部門に配分した。

レベル 1, 2, 3 の対策を講じることで、CO<sub>2</sub> 排出量は基準年と比較して、レベル 1 で 2.2%増加、レベル 2 で 3.1%減少、レベル 3 で 6.6%減少（以下同様の順で記述）することが示された。NO<sub>x</sub> 排出量は、同様に、レベル 1 で 18.9%，レベル 2 で 21.7%，レベル 3 で 23.8%それぞれ基準年より削減され、また、PM 排出量は、レベル 1 で 27.4%，レベル 2 で 29.8%，レベル 3 で 32.0%それぞれ減少している。

また、目標年の参照ケースと対策ケース（レベル 1, 2, 3）の排出量を部門計で比べると、CO<sub>2</sub> 排出量は 16.0%，20.3%，23.2%削減される一方で、NO<sub>x</sub> 排出量は 6.2%，9.4%，11.9%削減され、PM の排出量も 4.6%，7.8%，10.7%削減されることが示された。これを部門別の結果と合わせて表 4-8 に示す。

これを部門別にみるため、図 4-2 に参照ケース排出量を 100%とした場合の対策ケースの排出比を示す。

産業部門では CO<sub>2</sub> 排出量が 19%削減されるのに伴い、NO<sub>x</sub> 排出量は 11%削減、PM 排出量は 8%削減される。交通部門では CO<sub>2</sub> 排出量が 21%削減される一方、NO<sub>x</sub> の排出量 8%、PM 排出量で 5%削減される結果となっている。

また、家庭部門では CO<sub>2</sub> 排出量で 33%削減され、NO<sub>x</sub> 排出量で 26%、PM 排出量で 39%の削減が図られているとともに、業務部門では CO<sub>2</sub> 排出量で 34%削減されるのに伴い、NO<sub>x</sub> 排出量で 26%、PM 排出量で 31%が削減される結果となった。

表 4-8 対策ケース削減率(参照ケース比)

ガス種	部門	レベル1	レベル2	レベル3
CO <sub>2</sub>	産業	-12.3%	-15.1%	-17.8%
	交通	-16.3%	-20.5%	-24.3%
	家庭	-22.6%	-31.3%	-33.3%
	業務	-26.0%	-32.5%	-36.1%
	合計	-16.0%	-20.3%	-23.2%
NO <sub>x</sub>	産業	-4.5%	-7.6%	-10.6%
	交通	-5.4%	-7.3%	-9.0%
	家庭	-17.3%	-27.6%	-29.8%
	業務	-20.5%	-25.7%	-29.2%
	合計	-6.2%	-9.4%	-11.9%
PM	産業	-1.7%	-4.8%	-8.0%
	交通	-3.4%	-4.5%	-5.5%
	家庭	-31.4%	-38.3%	-40.1%
	業務	-22.8%	-28.4%	-32.3%
	合計	-4.6%	-7.8%	-10.7%

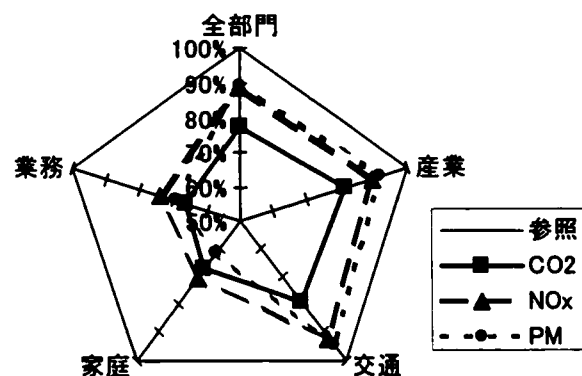


図 4-2 対策ケース排出量(参照ケース 100 とした場合)



## 4.5.2 対策種類別の CO<sub>2</sub>-NO<sub>x</sub> 削減効果の分析

図 4-3～4-6 に産業/交通/家庭/業務部門の対策種類別 CO<sub>2</sub> 削減寄与率-NO<sub>x</sub> 削減寄与率の相関関係を示す。CO<sub>2</sub> 削減寄与率-PM 削減寄与率の相関関係は、CO<sub>2</sub> 削減寄与率- NO<sub>x</sub> 削減寄与率の相関関係と同様の傾向にあり図示していない。なお、ここでいう削減寄与率とは、目標年参照ケースの排出量に対するレベル 2 の個別対策による削減量の割合である。

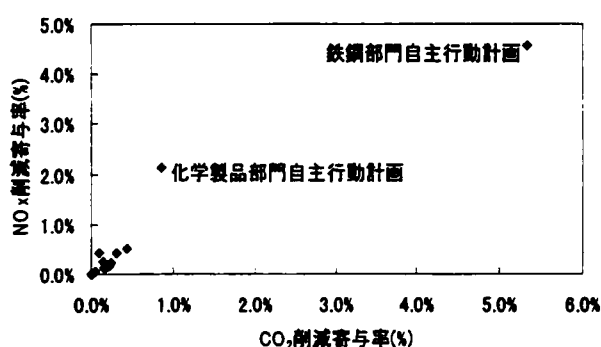


図 4-3 CO<sub>2</sub>-NO<sub>x</sub> 削減寄与率(産業)

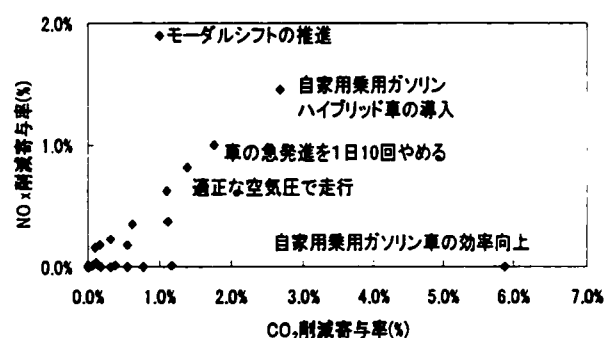


図 4-4 CO<sub>2</sub>-NO<sub>x</sub> 削減寄与率(交通)

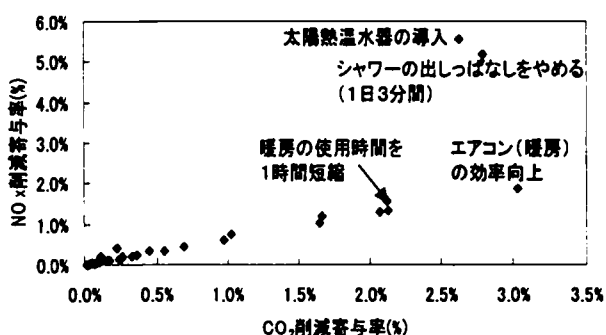


図 4-5 CO<sub>2</sub>-NO<sub>x</sub> 削減寄与率(家庭)

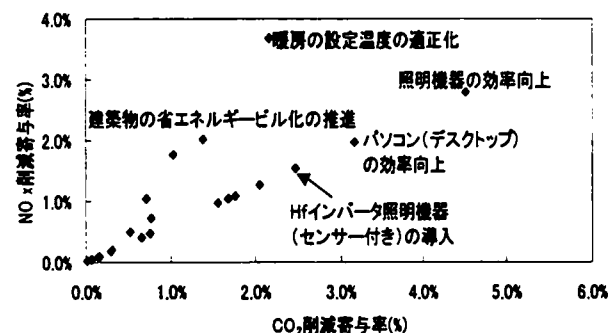


図 4-6 CO<sub>2</sub>-NO<sub>x</sub> 削減寄与率(業務)

部門別にこの特徴をみると、産業部門においては、鉄鋼部門の自主行動計画が CO<sub>2</sub> で 5.3%，NO<sub>x</sub> で 4.6%と比較的高い削減寄与率を示しているほか、化学製品部門の自主行動計画では CO<sub>2</sub> で 0.9%，NO<sub>x</sub> で 2.1%の削減寄与率を示す結果となっている。

交通部門においては、本章では既存自動車の NO<sub>x</sub> 等に係る排出削減効果を参照ケースに織り込んでいるため、既存車種の単体対策としては CO<sub>2</sub> 削減寄与のみが示されている。このなかで自家用乗用ガソリン車の燃費向上が 6%近い削減寄与率を有している。また、ハイブリッド自動車の導入は CO<sub>2</sub> で 2.7%，NO<sub>x</sub> で 1.5%、モーダルシフトの推進では CO<sub>2</sub> で

1.0%, NO<sub>x</sub>で1.9%と高い削減寄与率を示している。交通部門の心がけ対策では、「車の急発進を1日10回やめる」がCO<sub>2</sub>で1.8%, NO<sub>x</sub>で1.0%, 「適正な空気圧で走行する」がCO<sub>2</sub>で1.4%, NO<sub>x</sub>で0.8%と比較的高い削減寄与率を示している。

家庭部門では、「エアコン（暖房）の効率向上」がCO<sub>2</sub>で3.0%, NO<sub>x</sub>で1.9%の削減寄与率, 「シャワーの出しっぱなしをやめる」がCO<sub>2</sub>で2.8%, NO<sub>x</sub>で5.2%の削減寄与率, 「太陽熱温水器の導入」は, CO<sub>2</sub>で2.6%, NO<sub>x</sub>で5.6%の削減寄与率と, 比較的高い寄与を示している。また, この部門では「シャワーの出しっぱなしをやめる」と「太陽熱温水器の導入」を除き, ほとんどの対策が削減寄与率のNO<sub>x</sub>/CO<sub>2</sub>比(0.6程度)の直線に載っているが, これは本部門での対策のほとんどが電力消費削減に係るものであり, 電力の排出係数低減に係る削減寄与率のNO<sub>x</sub>/CO<sub>2</sub>比に連動していることによるものと考えられる。

また, 業務部門においては, 「照明機器の効率向上」がCO<sub>2</sub>で4.5%, NO<sub>x</sub>で2.8%, 「デスクトップパソコンの効率向上」がCO<sub>2</sub>で3.2%, NO<sub>x</sub>で2.0%, 「暖房の設定温度の適正化」が, CO<sub>2</sub>で2.2%, NO<sub>x</sub>で3.7%の削減寄与率を示し, 削減寄与の高い対策となっている。また, 家庭部門と同様, 電力のみならず燃料の消費削減に繋がる「建築物の省エネルギー化」, 「暖房の設定温度の適正化」, 「暖房の使用時間を1時間短縮」では, 電力の排出係数低減に係る削減寄与率のNO<sub>x</sub>/CO<sub>2</sub>比(0.6程度)を超えるNO<sub>x</sub>の削減効果を有しているが, それ以外の対策では, 電力の排出係数低減に係る削減寄与率のNO<sub>x</sub>/CO<sub>2</sub>比の直線に載っていることがわかる。

#### 4.5.3 対策レベルによる排出削減感度の分析

図4-7に対策レベルを2から1に下げた場合の対策ごとのCO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>の排出削減量の変化率を, また, 図4-8に対策レベルを2から3に上げた場合の同様の变化率を示す。

対策のレベルを下げたときにCO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>の排出削減効果が7割以上減少する対策は, 「見ないテレビの主要電源を切る」, 「冷蔵庫への詰め過ぎをやめる」, 「掃除機のフィルターをこまめに掃除する」, 「エアコンのフィルターをこまめに掃除する」, 「複層ガラスによる住宅の開口部保温構造化」, 「高周波(Hf)インバータ照明機器の導入」, 「ノート型パソコンの効率向上」であった。

また, 対策のレベルを上げたときに, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>の排出削減効果が5割以上増加する対策は, 「建設業の自主行動計画」, 「公共交通機関等を使用し1週間に1回マイカー利用を控える」, 「Hfインバータ照明機器（センサー付き）の導入」であった。

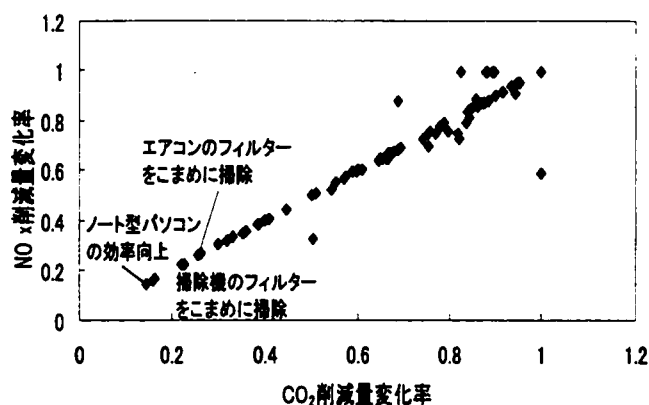


図 4-7 対策感度分析(レベル 2→レベル 1)

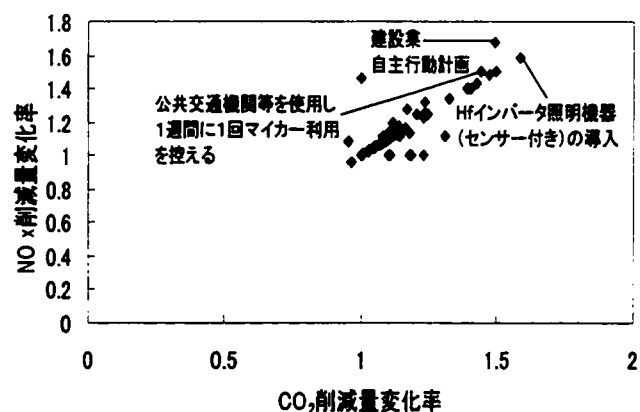


図 4-8 対策感度分析(レベル 2→レベル 3)

#### 4.5.4 分野別の排出増減要因分析

4.5.4 では、主要分野の排出増減がどのような要因により左右されているのかを分析する。具体的には、式(4-13)を用いた。

$$Q = D \cdot \frac{E}{D} \cdot \frac{Q}{E} \quad (4-13)$$

ここで、 $Q$  は排出ガス量、 $D$  は各分野にかかる活動量、 $E$  はエネルギー消費量を表す。式(4-13)から排出量を活動量、活動量あたりのエネルギー消費量（エネルギー強度）、エネルギーを1単位消費するときの排出ガス量（排出強度）の3つの要因に分解し、表 4-9 に示すように、基準年の排出量を100とした場合の個別分野ごとの排出増減を分析した。なお、産業部門や交通部門で、 $\text{NO}_x$ やPMに関する分析を行わなかったのは、このような要因分解が不適當であるからである。

エネルギー強度には 4.2.5 に述べたエネルギー消費効率化対策の変数( $e_{k,i}$ ,  $r_{L,i}$ ,  $\varphi_i$ )、排出強度には同様に電力等の排出係数低減対策の変数( $c_{k,i}^m$ )が含まれている。たとえばオフィス照明に対しては、「照明機器の効率向上」、「Hf インバータ照明機器の導入」、「昼休みの消灯」といった対策があるが、各対策はそれぞれ  $e_{k,i}$ ,  $r_{L,i}$ ,  $\varphi_i$  に対応している。基準年と対策ケース（レベル2）を比べると、

- エネルギー強度が大きく寄与している分野：乗用車、家庭エアコン、オフィス暖房・

## 照明

- 排出強度が大きく寄与している分野：シャワー、家庭エアコン、オフィス照明という特徴を得た。

表 4-9 主要分野の排出要因別の増減分析(対策ケース・レベル 2 の場合)

ガス種	分 野	活動量			エネルギー強度			排出強度			排出量		
		基準年	参照	対策	基準年	参照	対策	基準年	参照	対策	基準年	参照	対策
CO <sub>2</sub>	産業 鉄鋼	100	104	104	100	116	92	100	97	94	100	117	90
	化学製品	100	110	110	100	105	91	100	93	93	100	107	93
	交通 乗用車	100	167	163	100	105	76	100	100	100	100	176	124
	貨物車	100	100	97	100	110	101	100	100	100	100	110	98
	家庭 家庭エアコン	100	283	283	100	95	48	100	91	80	100	246	109
	シャワー	100	144	144	100	99	81	100	89	82	100	128	95
	業務 オフィス暖房	100	141	141	100	99	68	100	98	95	100	137	91
	オフィス照明	100	141	141	100	99	72	100	91	80	100	129	81
NO <sub>x</sub>	産業 鉄鋼	100	104	104	100	116	92	100	84	81	100	102	78
	化学製品	100	110	110	100	105	91	100	112	100	100	128	100
	交通 乗用車	100	167	163	100	105	76	-	-	-	100	57	44
	貨物車	100	100	97	100	110	101	-	-	-	100	64	61
	家庭 家庭エアコン	100	283	283	100	95	48	100	67	58	100	180	79
	シャワー	100	144	144	100	99	81	100	94	86	100	135	100
	業務 オフィス暖房	100	141	141	100	99	68	100	97	97	100	136	94
	オフィス照明	100	141	141	100	99	72	100	67	58	100	94	59
PM	産業 鉄鋼	100	104	104	100	116	92	-	-	-	100	185	163
	化学製品	100	110	110	100	105	91	100	137	112	100	158	112
	交通 乗用車	100	167	163	100	105	76	-	-	-	100	61	55
	貨物車	100	100	97	100	110	101	-	-	-	100	31	29
	家庭 家庭エアコン	100	283	283	100	95	48	100	100	87	100	270	119
	シャワー	100	144	144	100	99	81	100	69	65	100	99	75
	業務 オフィス暖房	100	141	141	100	99	68	100	98	98	100	138	96
	オフィス照明	100	141	141	100	99	72	100	100	87	100	141	88

(注) エネルギー効率改善が排出量低減に繋がらない対策を含む分野の欄は-とした。

## 4.5.5 活動量および対策強度に係るシナリオによる分析

2.2.3.1 に示したとおり部門の排出量を決定する重要因子となるサービス需要量については、幅をもって想定することが必要であることから、これらと主要な対策について、レベル 2 の対策ケースを基礎として表 4-10 に示す部門別シナリオを設定し、CO<sub>2</sub>、PM の排出量推計を行った。その結果を、部門別に図 4-9～4-12 に示す。

産業部門では、生産量が 10%増加することで CO<sub>2</sub>、PM の排出量が 5%～6%増加するが、自主行動計画を目標どおり実施することで、それぞれ 2%程度の増加に抑えられる。

表 4-10 設定したシナリオ

部門	基礎となるシナリオ(レベル 2)の 対策例	需要量の増加	対策の強化
産業	自主行動計画等の7割を達成	生産量が想定より 10%増加	自主行動計画を目標どおり実施
交通	ハイブリッド車の普及率が自家用車の2割 心掛け対策(注)	自動車走行量が想定 より10%増加	ハイブリッド車等低公害車の普及率が30%向上 心掛け対策を全ての主体が実施
家庭	Hf インバータ照明の普及率が49%	世帯数が想定より1% 増加	高効率機器の普及率が30%向上
業務	心掛け対策(注)	業務用床面積が想定 より10%増加	心掛け対策を全ての主体が実施

(注) 表 4-4 に示したレベル 2 の実施率を想定

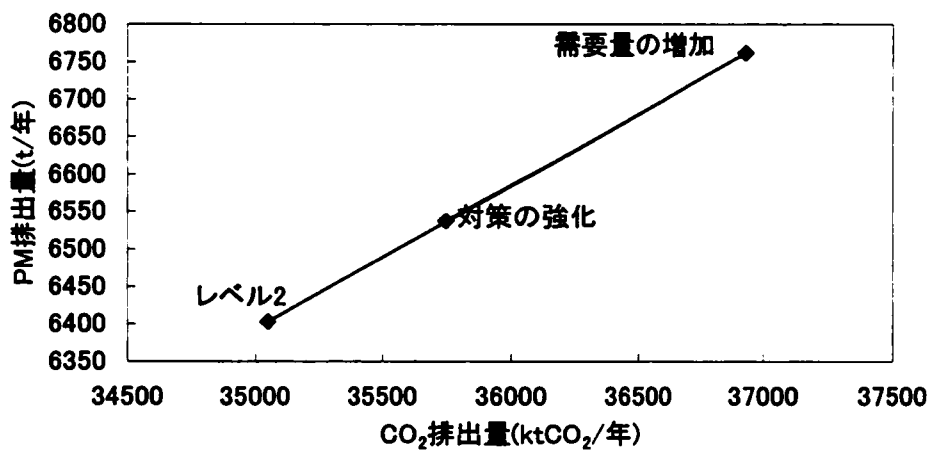


図 4-9 対策シナリオ分析(産業)

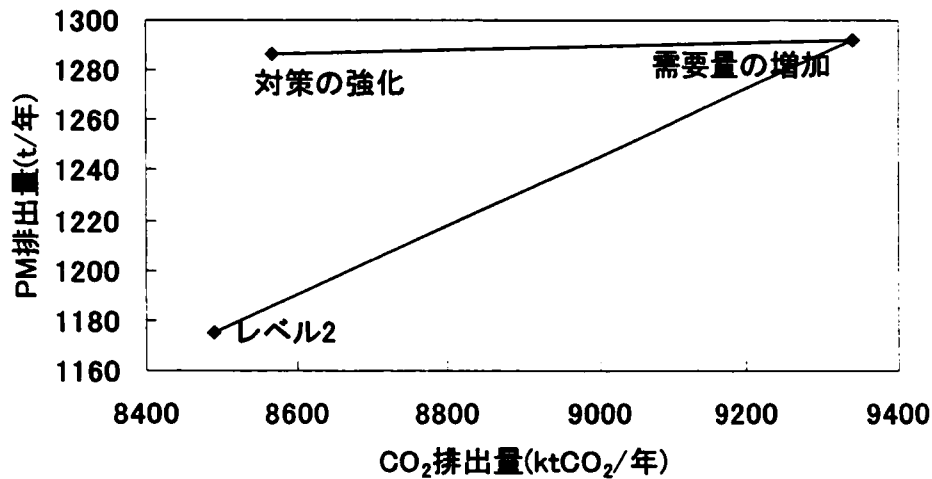


図 4-10 対策シナリオ分析(交通)

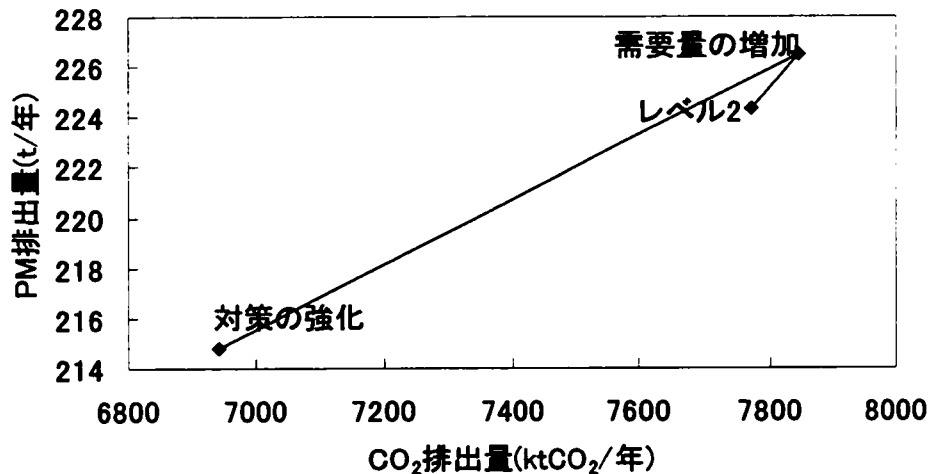


図 4-11 対策シナリオ分析(家庭)

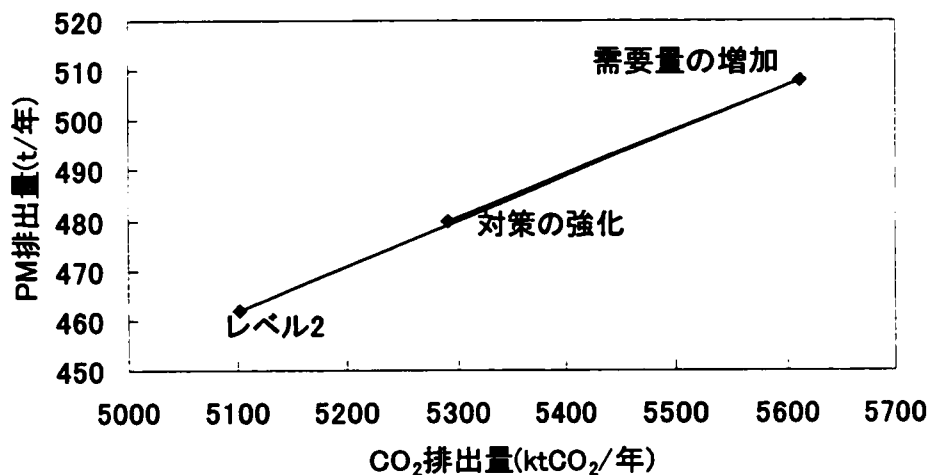


図 4-12 対策シナリオ分析(業務)

交通部門では、自動車走行量が10%増大することで、CO<sub>2</sub>、PMとも10%排出量が増えるが、ハイブリッド車等低公害車普及率が30%となり、かつ、心がけ対策を全主体が実施することで、CO<sub>2</sub>では0.9%増に排出抑制される一方、PMについては対策効果がほとんど現れない。これは想定した対策強化のなかにディーゼル車対策がほとんど含まれていないことによるものである。

家庭部門では、世帯数は1%増加することで、CO<sub>2</sub>、PMとも排出量が1%増加するが、高効率機器の普及率が30%となり、かつ、心がけ対策を全主体が実施した場合には、CO<sub>2</sub>で10.7%減、PMでは4%減に削減される。

業務部門では、オフィス面積が10%増加することで、CO<sub>2</sub>、PMとも10%排出量が増加

するが、家庭部門と同様の対策強化を施すことで、CO<sub>2</sub>0.2%増、PM3.1%増に抑えられる。

部門計でみると（図 4-13）、需要量が見込みより 10%増加（世帯数は 1%増加）することに伴う CO<sub>2</sub>排出量の増加を対策強化により相殺するためには、自主行動計画や心がけ対策の目標達成に加え、低公害車や高効率機器の導入をさらに 30%程度進めることが必要となることが分かる。

この場合でも、PM の排出量は相殺されず、レベル 2 での対策ケースの排出量を上回ることになるが、これは、交通部門における表 4-10 に掲げた対策の強化が PM に対して十分な削減効果を発揮していないことによるものである。

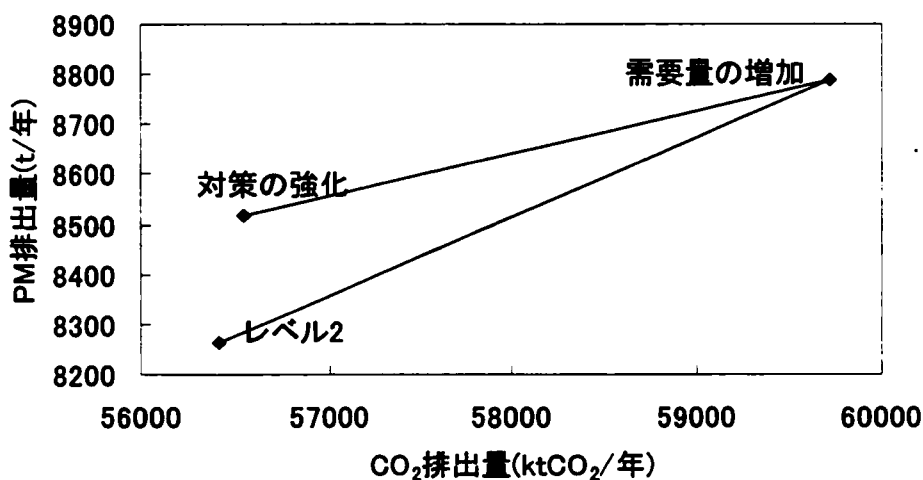


図 4-13 対策シナリオ分析(部門計)

#### 4.5.6 排出強度の地域分布

図 4-14～図 4-17 に愛知県の地理情報システム上にプロットした CO<sub>2</sub>および NO<sub>x</sub> の単位面積あたりの排出量（排出強度）を参照ケースと対策ケースのそれぞれについて示す。

参照ケースと対策ケースを比較すると、尾張地域を中心として CO<sub>2</sub> および NO<sub>x</sub> の排出強度が小さくなっていることがわかる。

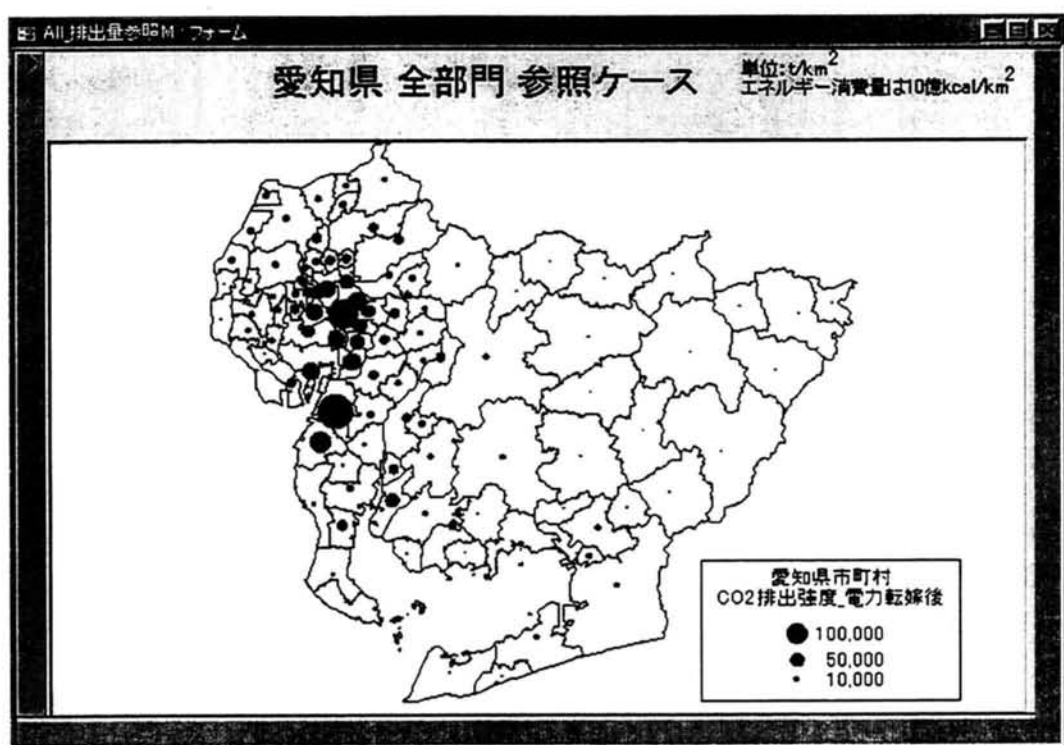


図 4-14 参照ケースにおける市区町村別二酸化炭素排出量(2010 年、電力転嫁後)

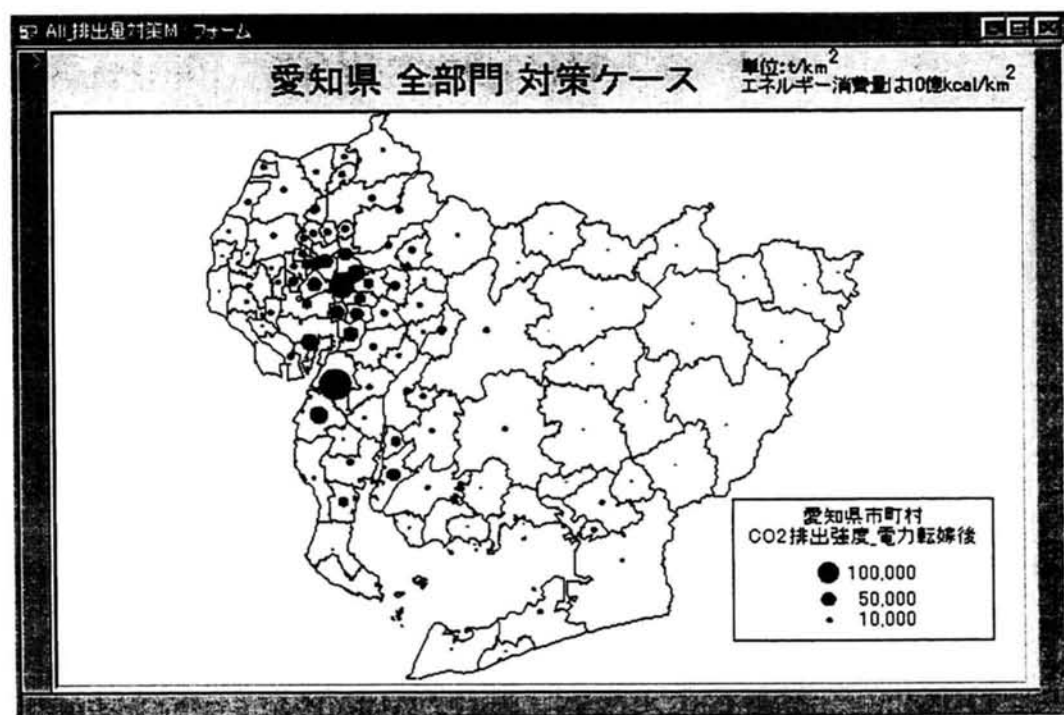


図 4-15 対策ケースにおける市区町村別二酸化炭素排出量(2010 年、電力転嫁後)



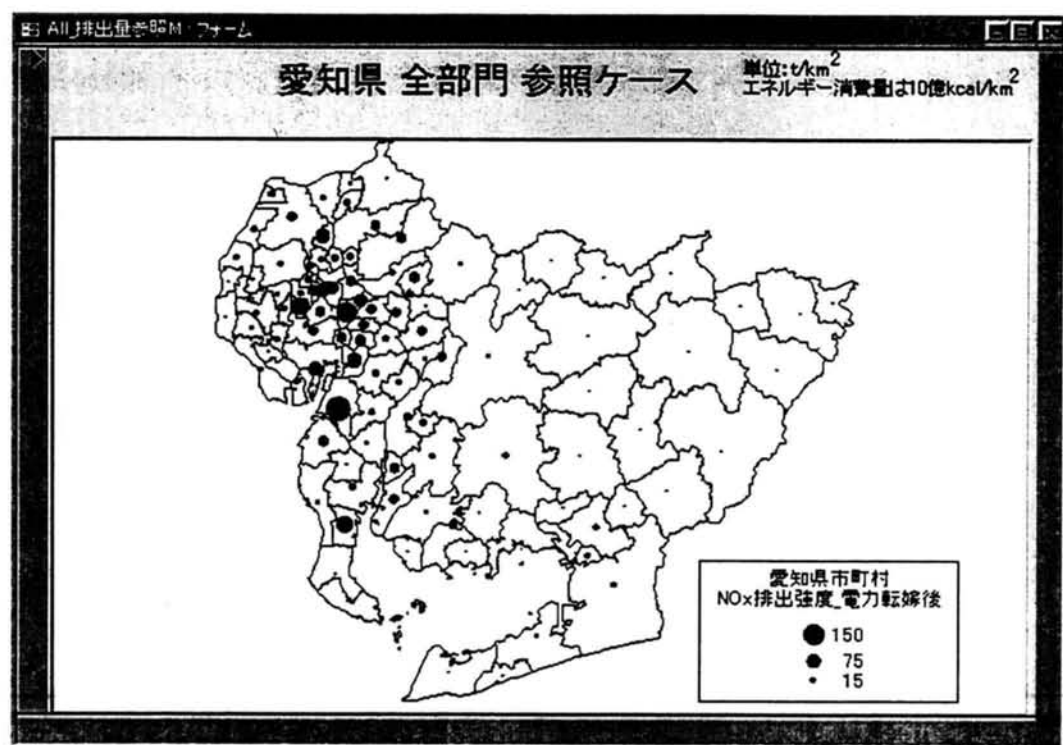


図 4-16 参照ケースにおける市区町村別窒素酸化物排出量(電力転嫁後, 2010 年)

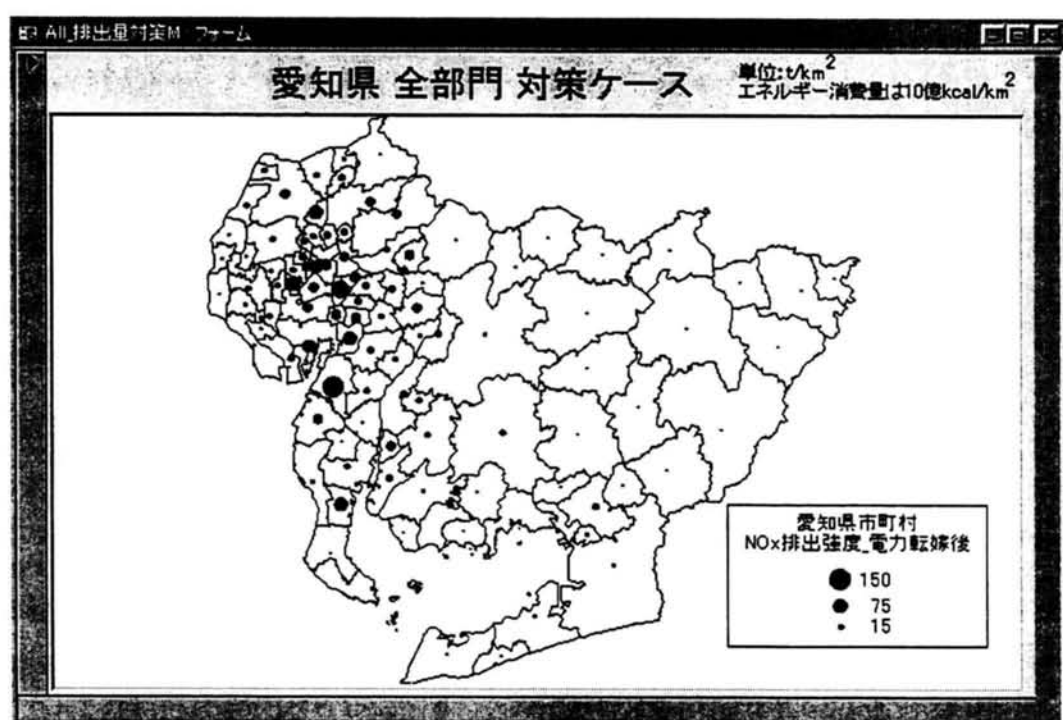


図 4-17 対策ケースにおける市区町村別窒素酸化物排出量(電力転嫁後, 2010 年)

このような地域分布情報を活用して、図 4-18 および図 4-19 に、目標年における参照ケースおよび対策ケースでの  $\text{NO}_x$  および PM の排出強度（全部門計）の地域分布を、ある排出強度以上の地域に居住する人口の累積数で示す。この累積人口の分布は、地球温暖化対策を講じることで全体的に排出強度が少ない方向に移行している。とくに、 $\text{NO}_x$  については  $40\text{t}/\text{km}^2$  前後の排出強度の地域での大きな削減が期待できる。

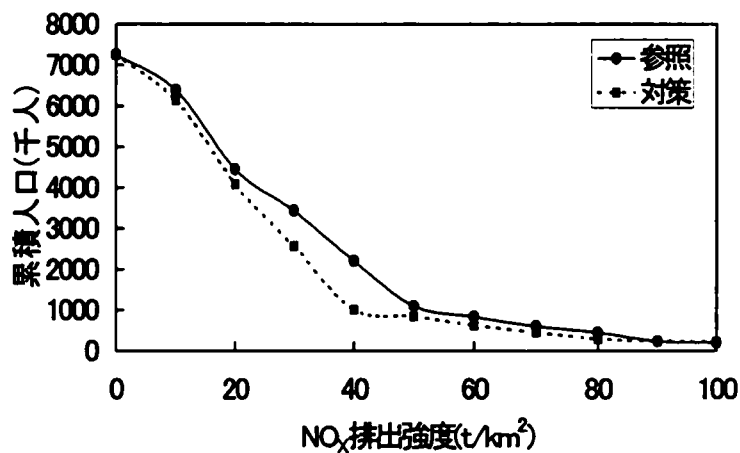


図 4-18  $\text{NO}_x$  排出強度別人口

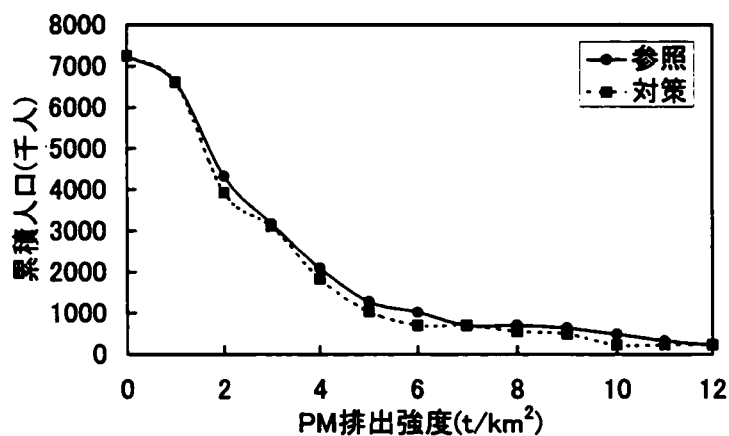


図 4-19 PM 排出強度別人口

## 4.6 地球温暖化対策の副次的効果推計を踏まえた政策展開

### 4.6.1 ALICE による推計結果の政策的含意

4.5において示した推計結果と副次的効果等に関する分析は、愛知県にALICEを適用した結果から導かれたものであるが、わが国全体での地球温暖化対策の実施による副次的効果の特徴やその大気環境政策上の含意としても捉えうるいくつかの点について考察する。

概括的には、このような地域積み上げ型のモデルを開発し、具体的な地球温暖化対策プログラムを前提にその副次的効果を推計することで、以下の点を可能にした。

- 1) 地球温暖化の緩和と地域大気汚染の防止という異なる目標の双方の達成という複雑な政策形成
- 2) 地球温暖化対策の直接効果と副次的効果の双方の観点からの地域実情に応じた対策メニューの選択

個別具体的には、第一に、地球温暖化対策メニュー別の効果分析により、地域の大気環境状況により、副次的効果の観点から重点を置くべき地球温暖化対策が異なることが明らかになった。たとえば都市大気汚染の深刻な地域においては、家庭やオフィスにおける節電より直接燃焼分野の効率向上を重点施策とすべきことが示唆される。

第二に、たとえば「建設業の自主行動計画」、「公共交通機関等を使用し1週間に1回マイカー利用を控える」、「Hfインバータ照明機器(センサー付き)の導入」といった対策は、対策レベルが上下することにより排出削減効果の変化が大きなものであり、行政担当者が多数ある高効率機器や心がけ対策のなかから重点化を行う際の目安となるものとする。

第三に、活動量、エネルギー強度、排出強度といった要因別の排出量増減分析を通じて、どの要因がどの程度削減に寄与しうるかを定量化でき、個別分野ごとのきめ細かな施策の立案に貢献するものと期待できる。

第四に、シナリオ分析を通じて、サービス需要量の増大に付随するCO<sub>2</sub>、PMの排出量増加と地球温暖化対策の強化に付随するCO<sub>2</sub>、PMの排出量減少とは、産業部門、家庭部門、業務部門においてほぼ同一線上の挙動をみせるが、交通部門においては対策強化に係る大気環境面の副次的効果が低いことが明らかになった。行政現場における地球温暖化対策と大気環境対策の統合政策を立案する際、この点に留意すべきである。

第五に、排出強度の分布に関する地理情報システム上の分析によって、地域別の対策効果の発現状況の把握とこれに基づくきめ細かな対策プログラムの策定に貢献できる。

#### 4.6.2 AIM エンドユースモデルによる推計と比較したALICE 推計の特徴

---

第2章でわが国全体の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出量の将来推計を目的に用いたAIM エンド

ユースモデルは、ALICE と同じく機器・技術の積み上げ型モデルであるが、炭素税など国全体のマクロ政策の有効性を評価するために開発されたものであり、地方公共団体の策定する地球温暖化対策推進計画の各種対策（企業の自主的行動や市民の心がけ対策）を一対一対応で盛り込めるような構造を有していない。

また、AIM エンドユースモデルは、線形計画法によって事業者や消費者の行動を経済合理性の観点から最適化するものであるが、地方公共団体の政策担当者へのヒアリングの結果、現段階ではこのようなロジックや計算プログラムには馴染みにくいことも分かった。第1章で述べた欧州を中心として開始されている統合評価への市民参加の動きも勘案すると、今後のモデル開発の方向性としては、政策担当者や市民とのインターフェイスが極めて重要な要素となる。

このようなことからALICEの構築にあたっては、施策策定担当者や市民などでも取り扱いが可能となるよう平易なインターフェイスを付加した。図4-20にその例を示す。

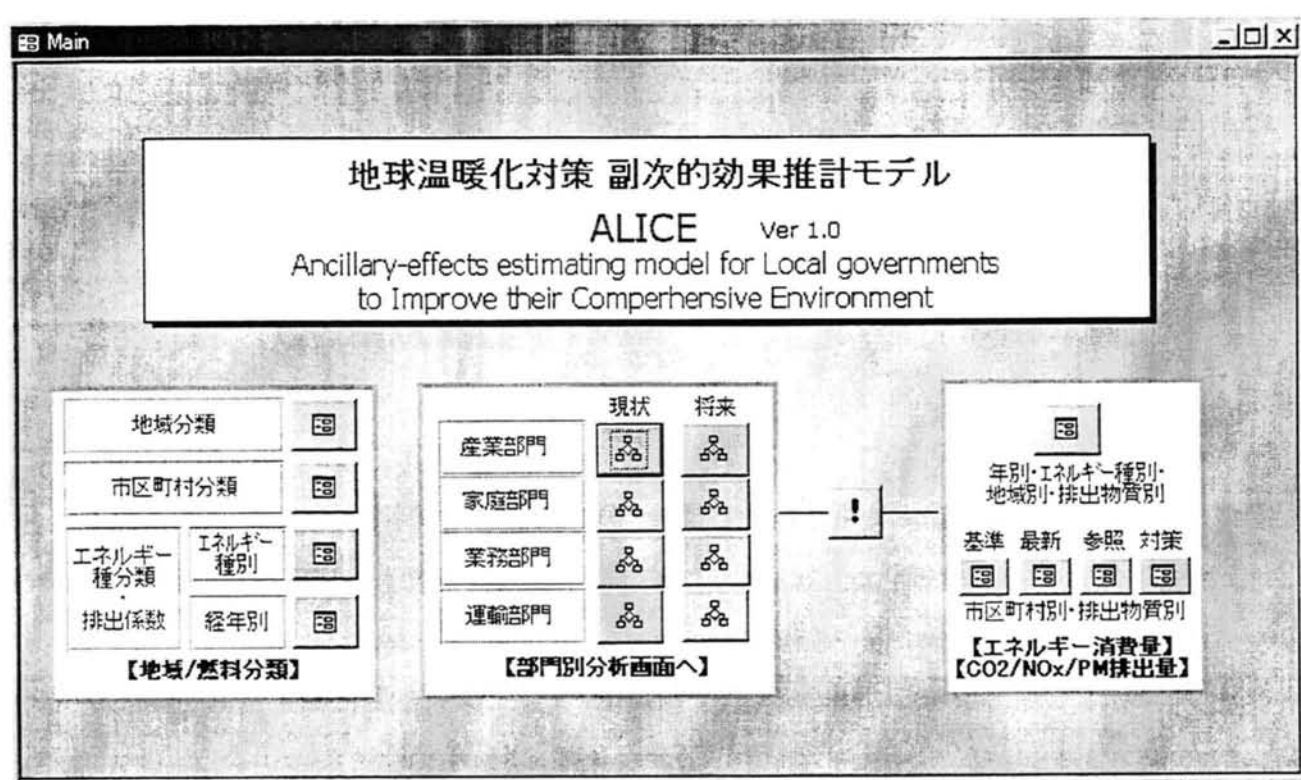


図4-20 ALICEのインターフェイス画面

図4-1に示した部門別のエネルギー消費機器の機種・年式別の燃料消費原単位やNO<sub>x</sub>/PM排出原単位、機種・年式別の保有率、これら機器の稼動状況・活動量、燃料中の炭素分（CO<sub>2</sub>排出係数）などALICEによる排出量推計に必要な諸データが現状/将来別にこのよ

うなインターフェースを通じて入力できる。

推計された将来のエネルギー消費量や各物質の排出量が、部門/業種別、エネルギー種別、地域別などの分類に応じて表やグラフの形で表示できる機能ももたせることで、政策担当者への利便性にも十分配慮した。

実際の地方公共団体における政策形成への活用を念頭において開発した ALICE の適用の積み重ねを通じて、ユーザーフレンドリーな地域積み上げ型モデルの普及が進み、地域に根ざした大気環境政策が推進されることを期待する。

#### 4.7 まとめ

地球温暖化対策が地域大気環境に及ぼす副次的効果を定量的に把握するため、推計モデル (ALICE) を開発し、愛知県を対象としてこのモデルを適用して推計分析を行った。得られた主な成果をまとめると次のとおりである。

- 1) 県の地球温暖化対策地域推進計画で取り上げた 3 つのレベルの対策を実施することにより、参照ケースと比較すると、CO<sub>2</sub> で 16～23% の排出削減に対して、NO<sub>x</sub> で 6～12%、PM で 5～11% の副次的な排出削減効果を得た。これは、次章の表 5-1 に示す欧州やカナダなどにおける既報値と同程度の副次的効果である。
- 2) 対策の種類別に、参照ケースから対策ケースへの削減量に対する削減寄与率をみると、①産業部門では、CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> とともに鉄鋼部門自主行動計画の占める割合が大きいこと、②交通部門では、自家用乗用ガソリン車の燃費向上が 6% 近い CO<sub>2</sub> の削減寄与率を有しているとともに、ハイブリッド自動車の導入は CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> で 1～3%、モーダルシフトの推進では CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> で 1～2% の削減寄与率が示されていること、③家庭/業務部門では、削減寄与率の NO<sub>x</sub> / CO<sub>2</sub> 比が電力排出係数の低減に係る比と同じである対策がほとんどであること、が明らかになった。このような推計を行うことにより、地方公共団体の地域特性に応じた対策の優先順位付けに役立てることができる。
- 3) 対策レベルによる感度分析の結果、対策のレベルを上下させることにより、排出削減効果が大きく変化する対策として、「高周波インバータ付き照明機器の導入」、「建設業にける自主行動計画」などが抽出された。このような分析は、数多くある対策のなかから政策的に重点化する際に有用である。
- 4) 個別分野の排出増減を運転量、エネルギー効率、排出係数といった要因別に分析すると、エネルギー効率向上が排出削減に大きく寄与している分野は家庭エアコン、排出

係数の低減が大きく寄与している分野はシャワーなどであることが分かった。このような要因分析は、排出構造に着目した的確な施策展開に活用できよう。

- 5) シナリオ分析の結果、活動量が見込みより 10%増加（世帯数は 1%増加）することに伴う CO<sub>2</sub> 排出量の増加を対策強化により相殺するためには、自主行動計画や心がけ対策の完全実施に加え、低公害車や高効率機器の導入をさらに 30%程度進めることが必要となるが、PM などの排出量は完全には相殺されないことが分かった。地球温暖化対策と大気環境対策の統合政策を推進するにあたっては、とくに交通部門において、CO<sub>2</sub> 排出量と PM などの排出量が必ずしも連動しないことに留意すべきである。
- 6) 目標年における参照ケースおよび対策ケースでの NO<sub>x</sub> および PM の排出強度（全部門計）の地域分布を、ある排出強度以上の地域に居住する人口の累積数でみると、地球温暖化対策を講じることで全体的に排出強度が少ない方向に移行している。とくに、NO<sub>x</sub> については 40t/km<sup>2</sup> 前後の排出強度の地域での大きな削減が期待できる。このような排出強度の分布に関する分析によって、地域別の対策効果の発現状況の把握とこれに基づくきめ細かな対策プログラムの策定に貢献できる。

## ＜文献＞

- 1) 島田 幸司・溝口 真吾・日比野 剛・松岡 譲, 地球温暖化対策が地域大気環境に及ぼす影響について, 環境システム研究論文集 Vol. 28, p. 77-83, 2000.
- 2) 島田 幸司・溝口 真吾・松岡 譲, 地球温暖化対策が地域大気環境に及ぼす副次的効果に関する研究, 土木学会論文集 No. 685/VII-20, p. 135-146, 2001.
- 3) 環境庁, 大気汚染物質排出量総合調査 (愛知県, 名古屋市), 1989, 1996.
- 4) 建設省道路局, 道路交通センサス, 1991, 1995.
- 5) 愛知県, あいちエコプラン 2010ー愛知県地球温暖化対策地域推進計画ー, 2000.
- 6) 運輸省自動車交通局技術安全部管理課, 自動車保有車両数, 1991, 1995, 1999.
- 7) 環境庁大気保全局大気規制課, 窒素酸化物総量規制マニュアル (増補改訂版), 1995.
- 8) 株式会社野村総合研究所, 自動車排出ガス原単位および総量に関する調査 ー排出ガス規制対象自動車の通常走行時における車種別 NO<sub>x</sub> 等排出量ー, 1998.
- 9) 環境庁大気保全局, 平成 7 年度群小発生源対策検討会報告書, 1996.
- 10) 通商産業省大臣官房調査統計部, 石油等消費構造統計表, 1991, 1998.
- 11) 日本国政府, 「気候変動に関する国際連合枠組条約」に基づく日本国報告書, 1994.
- 12) エネルギーの使用の合理化に関する法律 (平成 10 年 6 月改正), 1998.
- 13) 社団法人経済団体連合会, 環境自主行動計画, 1997.
- 14) 愛知県, あいちエコエネルギー導入ビジョン, 1997.
- 15) 中央環境審議会, 今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について(第三次答申), 1998.
- 16) 中部電力, 地球環境年報, 1999.
- 17) (財)日本エネルギー経済研究所エネルギー計量分析センター, わが国の超長期エネルギー需給に関するモデル分析, 1996.
- 18) (財)自動車検査登録協会, 自検協統計自動車保有車両数, 1981ー1999.

## 第5章 地球温暖化対策の副次的効果・便益分析の政策形成への活用

わが国は激甚な産業型大気汚染を克服した後、対策技術面と社会経済活動面の双方からの取組が求められる交通公害問題と格闘するなかで、さらに大きな社会経済の構造問題と向き合わざるを得ない地球温暖化対策にも直面しつつある。逆にみれば、2つの大きな環境問題に対する取組をあわせて一気に進められるチャンスが来ているともいえる。

そのような状況のなか、第4章では温室効果ガスと大気汚染物質の排出量を同時に推計できるモデルを開発し、地球温暖化対策の大気汚染物質排出低減効果を定量的に把握することにより、これを基盤として地球温暖化対策と大気汚染対策が連動した総合的な施策検討を行うことができることを示した。

地域における地球温暖化対策推進にあたっては、改正地球温暖化推進法に基づく「地球温暖化対策地域協議会」や「地球温暖化防止活動推進センター」を中心とした各界一体となった取組が期待されており、そうした活動の有力なツールとしてここで開発したモデルは活用しようと考えている。このような政策ツールをわが国の行政現場で活用するまでにはいくつかの課題があるのも現実であるが、地球温暖化対策の副次的効果・便益の計測値をどのようにして政策決定の支援材料とするかの検討はこれまでほとんど行われていない。

そこで本章では、まず、わが国の大気汚染対策の歴史や近年の大気環境問題の特徴をレビューし、近年の課題を克服するための政策・措置を考察しながら大気汚染対策と地球温暖化対策の関連を論じたうえで、地球温暖化対策と大気汚染対策の双方の強化に結びつくような統合的な大気環境政策の推進方を提案する。

### 5.1 わが国の大気汚染対策の歴史と近年の大気環境問題の特徴

5.1では、わが国の大気汚染対策の歴史と近年の大気環境問題の特徴をレビューし、残された大気汚染問題と地球温暖化問題への対処にあたっての共通的課題を整理抽出する。

#### 5.1.1 大気環境問題の歴史

わが国の大気汚染問題の歴史を第二次世界大戦後について概観すると、1955年ごろからの高度経済成長と重化学工場の集中立地に伴う健康被害発生と公害訴訟の頻発、さらには公害健康被害に係る補償制度の制定に至る時期（以下、第Ⅰ期）、1975年ごろからの交通



公害に代表される都市・生活型問題が顕在化し始めた時期（以下、第Ⅱ期）、1990 年ごろからの地球温暖化を始めとする地球環境問題への関心が高まった時期（以下、第Ⅲ期）の 3 つに分けることができる。

これら問題の主な排出者は、第Ⅰ期では大規模事業者、第Ⅱ期では自動車などを所有する者全般、第Ⅲ期ではエネルギーを消費する全ての者という流れとなり、期を追うごとに発生者の範囲は広がってきた。

### 5.1.2 第Ⅰ期：激甚な硫黄酸化物汚染への対策

第二次世界大戦後における日本の経済復興は早く、実質経済成長率でみると 1950 年代後半の平均が 8.8%，1960 年代の前半が 9.3%，1960 年代後半が 12.4%と未曾有の経済成長を遂げた。こうした 1955 年～1964 年の日本経済の飛躍的な成長により、エネルギー消費量は 10 年間で約 3 倍（1955 年度は 5,130 万石油換算トン、1965 年度は 14,580 万石油換算トン）となった。また、エネルギー源の主役は、この 10 年間で石炭から石油に代わった（1955 年度は石炭 49.2%および石油 19.2%，1965 年度は石油 58.0%および石炭 27.3%）。その後のエネルギー需要も、1965 年～1974 年の 10 年間に 2 倍強に増大した。

このようなエネルギー消費量の増大とエネルギー源の変化に伴い、各地で降下ばいじんや硫黄酸化物による激甚な大気汚染問題を惹起した。問題の背景を産業構造や産業配置の観点からみると、まず、1955 年頃からの経済成長過程が生産額あたりの潜在的な汚染物質の排出量が大きい重化学工業を中心としたプロセスであったことがあげられる。さらに、このような工業生産の相当部分が輸出に回されたことから日本の最終消費に見合う量以上の汚染物質がこれら製品の製造に伴って排出されることになった。

また、高度経済成長の初期においては、石油化学工業の育成が大きな課題であったことから、特定の臨海地帯に大規模なコンビナートを造成し、当該工業を集中立地することになり、激甚な産業公害を生じさせるもう一つの要因になったと考えられる。

このようななか、1967 年には「公害対策基本法」が成立したが、同法制定後も公害はますます深刻化したため、1970 年には公害対策の抜本的強化を行うための大規模な法律改正、新法制定が行われた。このときに改正された「公害対策基本法」と「大気汚染防止法」がその後の日本の大気汚染対策の基本となった。

工場・事業場からの排出を主因とする激甚な大気汚染問題に対し、具体的な努力として、

1) 行政側での措置：環境基準の設定（1969 年 2 月）、排出規制の実施（K 値規制は 1968

年 12 月の第一次規制～1976 年 9 月の第八次規制、総量規制は 1974 年以降)、低硫黄原油の確保政策など

2) 発生源側：燃料の低硫黄化や LNG（液化天然ガス）への転換、排煙脱硫装置等の設置など

が進められた。この結果、1970 年ごろを境に大気中二酸化硫黄平均濃度が劇的に低下し、1975 年頃には環境基準値に相当する年平均値 0.02ppm 程度まで下がった。

経済協力開発機構(OECD)が日本の環境政策をレビュー（1974 年）<sup>1)</sup>した結果、このような劇的な硫黄酸化物汚染の改善を「公害防除の戦闘における勝利」と評しており、官民一体となった取組が有効に機能したものと評価できる。

当時の二酸化硫黄排出量削減効果をシミュレーションで要因分析した研究<sup>2)</sup>によると、1960 年代においてはもっぱら低硫黄化に向けた燃料転換であったが、1970 年代にはいつて排煙脱硫の効果が大きく出始め、さらには省エネルギーによる効果が次第に大きくなっていった。その当時のわが国において、近年の開発途上国と同様に、省エネルギー対策の副次的効果として二酸化硫黄排出量の削減が図られたのである。また、二酸化硫黄の削減対策の効果は、対策の進展段階やエネルギー価格などの外的な要因によって大きく変化していることが分かる。

### 5.1.3 第Ⅱ期：都市・生活型大気汚染問題の浮上

硫黄酸化物を中心とする産業公害対策の着実な進展の一方で、この時期に問題が深刻化してきたのが交通公害に代表される都市・生活型の大気汚染である。

自動車排出ガス規制については、ガソリン車排出ガスの一酸化炭素濃度について、1966 年から運輸省による行政指導、1968 年から大気汚染防止法に基づく法的規制が行われていた。1971 年には、大気汚染防止法の自動車排出ガス規制として、炭化水素、窒素酸化物、鉛化合物および粒子状物質が追加された。

自動車排出ガス中の窒素酸化物について本格的規制が始まるのは、日本版マスキー法と呼ばれた 1978 年規制からである。窒素酸化物の排出量を現状から 9 割以上削減するという規制を 1976 年度から実施することについては、技術的困難や輸出競争力低下を理由とする強い反対があったこと、米国におけるマスキー法による規制が当初予定のものから大幅に後退したことなどの事情もあり、規制の実施までには紛糾を重ねた。しかし、自動車排出ガス規制を求める世論の高まりのなかで、自動車排出ガス低減技術の開発が急速に進

められ、結果的には2年の遅れはあったものの、当初どおりの規制が実施されたのである。

また、ガソリン乗用車およびLPG乗用車に比べ相対的に緩い規制に留まっていたトラック、バス等についても、窒素酸化物についてさらに規制の強化を図るべく、1977年に中央公害審議会から自動車排出ガスの許容限度長期設定方策について答申が出され、これに沿って第一段階の規制が1979年度規制として実施され、さらに第二段階の規制が技術評価を踏まえつつ、逐次実施されることになった。

このように自動車公害問題に対してさまざまな施策が講じられたものの、現在に至るまでこれら公害の代表的な指標となる二酸化窒素の大気中平均濃度は横ばい状況であり、1986年度以降は悪化の傾向さえみせている<sup>3)</sup>。

これらの問題は、国民の経済・消費の高度化に伴い、都市活動や国民生活に付随して発生する都市・生活型の大気汚染問題としてクローズアップされることとなった。その背景としては、内需拡大による景気の好転とともに、モータリゼーションによる輸送の高速・迅速化、情報の集中・ネットワーク化等、都市活動のさらなる高度化が挙げられる。例えば、わが国の自動車保有台数は1980年から約20年で2倍近くまで増加している<sup>3)</sup>。

さらに、国民のライフスタイルの変化もエネルギー消費を増大させる方向に向かった。例えば、新型乗用車の燃費は、同一車種について向上したものの、乗用車に対するニーズの大型化・高級化が進み、全体として悪化した。

大都市圏では、都市活動の更なる高度化が進行した結果、交通公害等のウェートが高まることとなり、また、地方圏では、モータリゼーションの進行とあいまって、比較的低密度だが拡散的な市街地が形成され、都市的な生活様式の普及とともに、都市・生活型の環境問題が全国的に広まることとなった。

自動車単体対策が自動車メーカーの努力もあって着実に進展したにもかかわらず、道路沿道等の汚染状況の改善がはかばかしくない理由として、この対策に本来不可欠な、都市計画、土地利用の段階での対策、汚染の著しい地域での自動車交通総量のコントロール等、交通システム全体を環境の観点から適正なものとするための対策が欠如していたことがあげられる。

また、産業公害においては、原因者と被害者との対立のなかで克服への道が拓かれてきたが、都市・生活型大気汚染では、生活の用に使う自動車が汚染の原因になっているなど、個々人が原因者でもあり、被害者にもなり得るという関係にある。したがって、その克服には、単に工場・事業場や自動車メーカーに対して対策を要求するだけでは足りず、個々人の消費や生活パターンの変革が必要となる。

このように都市・生活型大気汚染の解決には、政府が厳しい直接規制を導入し、産業界が必死に技術開発を行ってこれに対応するシステムが有効に機能しなくなったものと考えられ、OECD レビュー報告書(1993 年)<sup>4)</sup>では、「環境基準達成に向けた新たな対応戦略が必要」と指摘されている。すなわち、交通需要管理などの経済社会の活動への視点が不可欠となってきたのである。これらの課題は、後に問題化する地球温暖化への対処の困難さと同様の構造を有するものである。

#### 5.1.4 第Ⅲ期:地球化時代の大気環境問題

1990 年代に入って、環境問題のグローバル化はいっそう進み、国際社会においては、「持続可能な開発」が人類の現在および将来の基本的課題であるとの共通認識が形成された。大気分野における大きな課題となっているのが、地球温暖化、オゾン層の破壊、酸性雨等の地球規模の環境問題への取組である。

とくに、地球温暖化は、産業革命以来人類が目指してきた豊かで便利な社会のあり方を根本から見直し、現在の世代のみならず将来の世代の利害をも見通した取組を行うことが求められる新たな次元の環境問題である。地球温暖化問題は、従来型の大気汚染と比較して次のような特徴がある。

- ① 原因物質が有害な健康上の影響を直ちに及ぼすものではなく、その影響は、環境全体の変化として現れ、自分たちの世代というよりは、子や孫の世代になって、より深刻に影響が生じること。
- ② 影響は、原因物質の排出が集中する特定の地域に限定されることなく、地球全体に及び、しかも被害が集中して発生する地域もあること。
- ③ 原因が特定の活動から排出される物質だけではなく、人類のありとあらゆる活動に伴って生じる二酸化炭素等であること。
- ④ 時間を経て、空間的広がりをもって影響が現れるという特徴から、一般的には、国民の間に危機意識が生まれにくく、対策を求める国民的な運動が盛り上がりにくいこと。
- ⑤ 原因物質が人類のありとあらゆる活動に関係するという特徴から、従来型の公害に対してとってきたような、特定種類の比較的数の限られた排出源に対する規制方法だけでは、対応が不可能ないし困難であること。

このような特徴をもつ地球温暖化対策については、国内外において諸制度が整備されつつあるが、本格的な対策は緒についたばかりであり、現段階ではめざましい排出削減効果

は現れていないというのがその実態であろう。

例えば、個々の家電製品の省エネルギー性能は向上しているが、家庭内におかれる製品の種類や数が増えつづけ、家庭用電力消費は増加の一途をたどっている。また、革新的な低燃費自動車は高コストゆえに大量普及の歩みが遅いという現実直面している。

## 5.2 今後の大気汚染対策と地球温暖化対策の関連

5.1 でわが国の大気汚染対策の歴史と近年の大気環境問題の特徴をレビューした結果、両者の影響の性格は異なるものの、交通公害に代表される近年の大気汚染対策と地球温暖化対策では、多数かつ多様な活動に対する対策のあり方やコストが高い革新的な技術の大量普及方策の2点が克服すべき共通の課題であることを明らかにした。

5.2 では、この2つの課題に対する今後の政策・措置のあり方を考察しながら、大気汚染対策と地球温暖化対策の関連について論ずる。

### 5.2.1 考えられる政策手法

大気環境政策のオプションは、規制的手法、自主的取組および経済的措置の大きく3種類に分けられる。

規制的手法には、機器・燃料の性能や質の規制と自動車交通の流入規制が含まれ、前者が今後ともわが国における主要な対策となることが見込まれるが、後者についても、依然大気汚染の改善がはかばかしくない大都市において本格的な検討が開始されている。

業界の自主行動計画の策定とそのフォローアップからなる自主的取組は、わが国産業部門の地球温暖化対策の骨格をなすものであるが、社会的な担保や実績評価のあり方などに課題があり、規制的手法や経済的措置との連動が望まれるところである。交通部門においても、アイドリングストップ運動は自主的取組を促すものであるが、その実施状況や効果の把握は困難であり、次なるステップを検討する時期にあるものと考えられる。

一方、経済的措置は、税制などを通じた多岐にわたる経済主体への働きかけであり、インセンティブを与えるものとして補助金や税制優遇が、ディスインセンティブを与えるものとして環境税（炭素税）、課徴金（ロードプライシング）などがOECD諸国を中心に導入されている。

わが国においては、これまで補助金による優遇措置が中心であったが、2002年から、排

ガスや燃費の性能が優れた車には軽い税を、また性能の悪い自動車には重い税を課す税制（いわゆる自動車グリーン税制）が導入された。このグリーン税制においては、大気汚染物質と燃費(CO<sub>2</sub>)の両方に着目して税制を設計している点において、本研究で対象とした副次的効果・便益や共通便益との関わりが深い。

たとえば、第4章で開発したALICEを高度化し税制も盛り込めるようにすれば、このようなグリーン税制の設計やその効果の定量化に際して、大気汚染防止と地球温暖化緩和の両方の観点から活用することができる。

## 5.2.2 環境管理手法への自主行動計画の導入による展開

### 5.2.2.1 自主協定方式の発展

わが国では1970代から、環境管理の分野で行政指導・助言・勧告により自主的取組を誘導する行政手法が広く取り入れられてきた。この時代においては、公害防止対策を中心に、個別事業者と行政・住民との間で「公害防止協定」を締結し、法令に基づく規制基準を上回るレベルの対策の導入・実施が勧められてきた。このような協定方式は、事業者の自主的取組の客観性を担保し、大規模な固定発生源からの公害防止の分野では効果をあげてきた。

この手法は今後、地球温暖化対策など広く環境負荷の低減のために、事業者の自主的取組を基礎としたうえで、業界団体と行政・住民との合意による「協定」の形へと展開される可能性がある。このようなチャンスをとらえて、行政・住民が事業者の地球温暖化対策の副次的効果・便益も評価することによって、事業者の自主的な取組が大気汚染防止と地球温暖化緩和の両方の観点から進められていくことが期待できる。

### 5.2.2.2 総量規制や環境影響評価

規制手法のなかに自主的取組を取り入れて、対策の効率化をはかる考え方の萌芽は、汚染物質排出に係る「総量規制」にもみられる。すなわち「総量規制」では、個々の公害発生施設でどのような対策をとるかは各事業者任せ、事業所全体の発生量の抑制を求めるものである。同様の規制メカニズムは、敷地境界線基準による規制についてもみられる。

地球温暖化問題への対処の場合は、まさに温室効果ガスの総量管理が必要であり、今後、

事業所ごとの排出量取引制度が整備されていけば、窒素酸化物等に関する既存の総量規制制度と連携・協調した温室効果ガスの総量管理制度の設計が可能となろう。

さらに、環境影響評価制度も、開発計画の実施による環境への影響を事業主体自らに評価させたうえで、その自主的な判断で、具体的に環境負荷の低減のための対策を検討させて、より環境に配慮した事業計画へと誘導するシステムであり、実質的には、自主的取組を要素とする環境管理手法のひとつである。

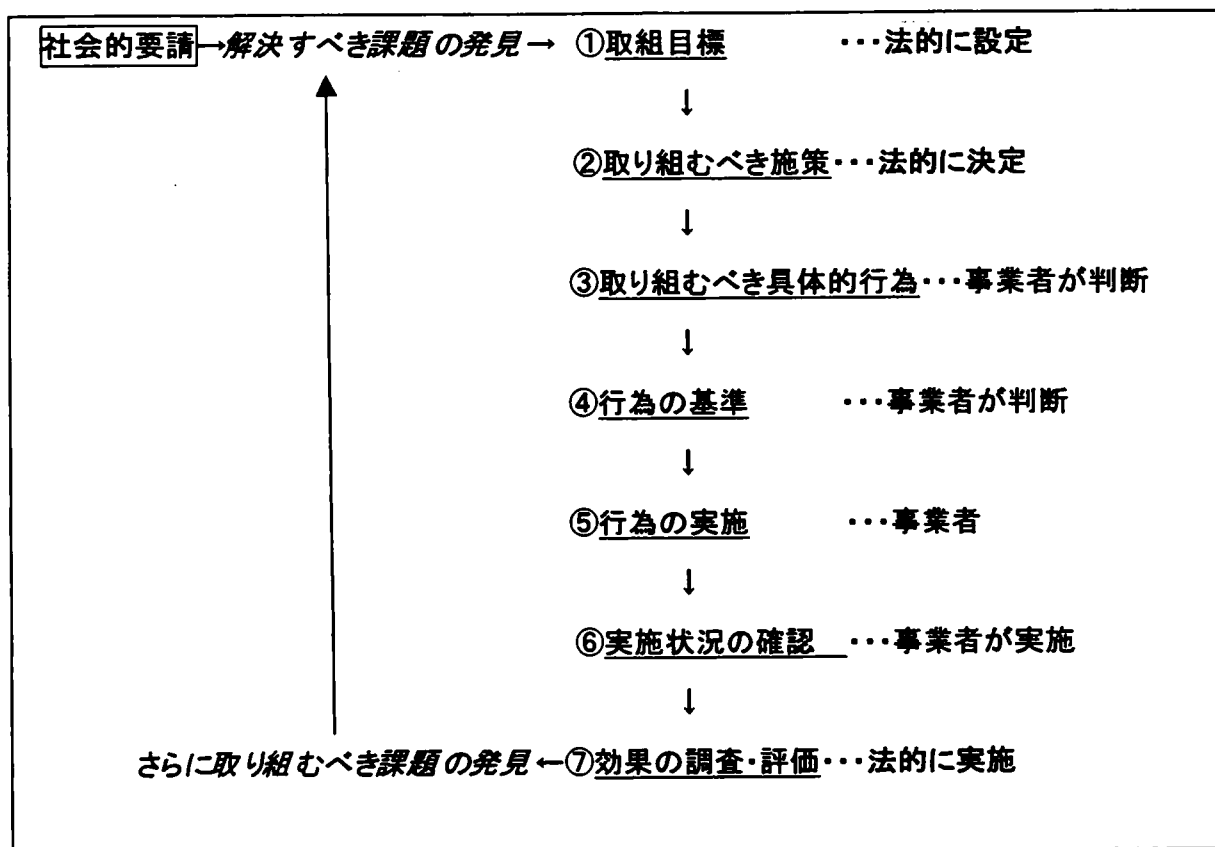
1997年に制定された環境影響評価法の技術指針では、開発プロジェクトの環境影響評価項目のなかに大気汚染物質に加えて温室効果ガスも盛り込まれており、大気汚染防止と地球温暖化緩和の双方の観点から、調査・予測・評価が必要となる。第4章で開発したALICEを改良・応用すれば、このようなプロジェクトごとの大気汚染物質・温室効果ガスの排出量推計が可能である。

#### 5.2.2.3 枠組み規制への応用

1996年の大気汚染防止法の改正では、有害大気汚染物質規制について、国が法律に基づいて、環境における有害物質濃度の基準と環境中への排出限度の指針を示したうえで、具体的な対策の方法は事業者自主的な判断にゆだねるという、新たな手法が取り入れられた。同改正では、規制主体は、図5-1に示す①、②と⑦の過程を担当し、その間の過程は事業者の創意工夫を認めた。これは、規制の制度的枠組みを法律で定めながらも、個別具体的に各主体が取り組むべき環境負荷削減の行為は、自主的取組によるものとする手法であり、いわば「枠組み規制」とでもいうべき、環境管理手法である。

このほか、特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律（いわゆるPRTR法）に基づく、各事業所からの化学物質の環境中への排出量の測定・推定とその結果の報告の法的義務付けなども、制度的な枠組みを義務化したうえで、その後の自主的な環境負荷低減の方策を誘導する点では、これと同様の性質のものといえる。

発生源が多岐にわたり管理すべき項目も多いことから規制的手法だけでは管理が困難とされる化学物質を対象とした自主的取組と規制の融合的手法は、今後、同じく発生源が多岐におよぶ温室効果ガスの排出管理にも一体的に適用する方向が考えられる。



注) 文献 5)をもとに筆者が改変

図 5-1 「枠組み規制」の概念

### 5.2.3 段階に応じた革新的技術の導入方策と政策調和

わが国においては、以上に述べた各種の政策手法が独立して講じられてきた傾向にあるが、今後は民間の技術開発の動向とも連携しつつ、調和的に施策展開していくことが望まれる。

具体的に連携すべき施策として、

- 1)技術開発の促進
- 2)税のグリーン化
- 3)環境税の導入
- 4)税収の活用

の4つがあげられ、連携の一例を図 5-2 に示す。

環境にやさしい自動車（エコカー）の開発はいまや世界の自動車メーカーの生き残りをかけた競争となっているが、これを需要サイドからも支える施策として、開発動向と連携しながら自動車グリーン税制を充実強化していくことで、自動車の供給・需要両面からの



グリーン化が進む。

また、1.3 に述べたように自動車の使用方法の面からの取組も不可欠であり、環境税（炭素税）の導入により、自動車の適正使用を誘導することが検討されるべきであろう。さらに、ここからの税収は、路面電車や自転車道のような環境に優しいインフラ整備に充てることで、大気環境上望ましい経済社会構造の構築が図られることになる。

このような一連の政策・措置は、大気汚染防止と地球温暖化緩和の両方を目的として設計・実施されることで政策の合理性やそれへの支持が高まり、早期実現に近づくことを期待する。

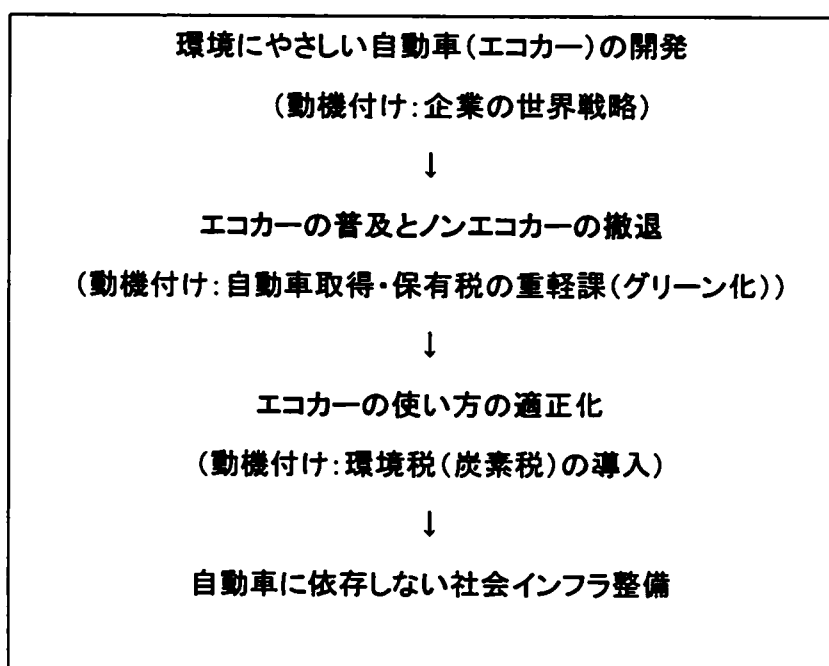


図 5-2 革新的技術導入や交通システム改革のための一連の政策・措置

### 5.3 政策統合に向けた課題と方向性

5.3 では、5.2 で考察した大気環境政策の新たな展開と地球温暖化対策の副次的効果・便益の関わりを念頭に置きつつ、大気汚染対策と地球温暖化対策の統合政策の意義・要請を再整理したうえで、いかに現実の政策形成に適用しうるかという観点からみた適用方策や課題を述べる。

さいごに、以上の考察を踏まえた大気汚染対策と地球温暖化対策の具体的な統合政策のあり方を提案する。

### 5.3.1 大気汚染対策と地球温暖化対策の統合の意義・要請

これまで大気汚染対策と地球温暖化対策の統合的なアプローチがあまり普及していない背景・事情は、5.1.4に述べた両者の相違を踏まえれば以下の3点に集約できる。

- 対策による便益が発生する場所や時期が異なること：大気保全対策は対策を施した地域を中心として便益がすぐ現れるのに対し、地球温暖化対策は地球規模での便益が将来世代で発生する。
- 科学的知見の充実や社会問題化の時期が異なること：わが国においては大気汚染問題が深刻化し始めた約30年後に地球温暖化問題の存在が取り上げられ始めた。
- 対策手法が異なること：昨今の大気保全対策ではエンドオブパイプ型が中心であるのに対し、本格的な地球温暖化対策では構造的な変革や活動そのものの見直しが求められる。

大気汚染対策における費用効果分析や経済的措置の導入と地球温暖化対策における副次的便益の勘案という時代の流れにおいて、2つの対策を連携・統合しながら進めることによる相乗効果(synergies)が得られるチャンスが大きくなる。5.2で述べたように、税制のグリーン化や環境税の導入にあたっては、個別に検討を進めるより、複数の政策ニーズから導入を訴えたほうが説得力や迫力が増すことはいうまでもない。

また、連携・統合した政策は、財政状況が厳しいなか、効率的な政府であるべきという社会的要請にも沿うものである。

### 5.3.2 国際条約・地域的プログラムへの統合的対応

環境保護のためのグローバルあるいはリージョナルな多国間協定が数多く策定されるなか、これらをどのように効率的・協調的に実施するかという問題は、国際環境ガバナンス強化というアジェンダのなかで重要な課題となりつつある。

グローバルな観点からは、国連環境計画（UNEP）の調整機能強化や条約事務局・国際機関間の連携強化が求められているとともに、リージョナルな視点からも地域事務所の調整機能強化や地域協力メカニズムの統合的活用が課題となっている。

大気環境分野についてみると、グローバルには気候変動枠組条約・京都議定書やオゾン層保護のためのウィーン条約・モントリオール議定書が存在するとともに、東アジア地域では酸性雨モニタリングネットワーク（EANET）や北東アジア環境協力準地域プログラ

ム（NEASPEC）のなかの「エネルギーと大気汚染」プロジェクトが始動しているが、これらの条約やプログラム間の連携は十分行われていないのが現状である。

このような状況を踏まえ、国連大学における「インターリンクージ」という研究プログラムのなかで、いろいろな国際環境条約・議定書をグループ化し、各グループのなかで条約・議定書間の連携・統合を図る方向の提案がなされている。

大気環境分野における各種の国際的取決めやプログラムを実施するのは各国政府であり、連携・統合に向けた国際的な流れに対応できるような体制整備が今後必要となる。

### 5.3.3 統合的大気環境政策への副次的便益の適用方策と課題

統合的な大気環境政策の形成に際して、どのように地球温暖化対策の副次的効果・便益を適用し得るかについて、3.4.2に示した表現方法に則して以下に述べる。

#### 5.3.3.1 経済評価を行わない形での現実的適用

地球温暖化対策の便益や効果の定量化が困難であったり、行政現場への適用の初期段階である場合には、それらを定性的に表現することが適当であり、各種の地球温暖化対策が他の分野にどのような効果・影響を及ぼすのかを示すチェックリストのような形で活用しうる。

一方、地球温暖化対策の副次的な効果は定量化しうるものの、その貨幣換算が困難であったり必要のない場合には、削減量などの物理量表現が用いられる。複数の対策の効果を検討する際には、いわゆる費用効果分析が用いられるが、優先順位付けなどの目的ならこのような物理量表現で十分であり、貨幣評価にまつわる論争を惹起しないという利点もある。

このような推計を行った研究例を表3-2に示したものも含めて物理量表現で再整理すると、表5-1のようになる（文献6）～15より作成）。

代表的な研究例としては、米国4都市を対象として地球温暖化対策によるSO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、PM、揮発性有機化合物(VOC)、一酸化炭素(CO)の排出削減率を計算したケーススタディ<sup>13)</sup>や、わが国愛知県を対象として県地球温暖化対策推進計画を実施した場合のNO<sub>x</sub>とPMの削減量推計や対策別の副次的効果の分析を行った研究<sup>14)</sup>がある。

表 5-1 地球温暖化対策の副次的効果に関する推計の一覧

地域 区分	著者	対象地域 (対象部門)	シナリオ・ケース	推計年	排出削減率 (対参照ケース%)			
					CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM
欧州	Alfsen et al. (1995)	西欧9ヶ国	エネルギー税 (3~4 €/バレル)	2000	9.4~9.7	7.4~9.3	6.2~6.4	
	Baker et al. (2000)	欧州19ヶ国	炭素税(15.4 €/石油換算)・ 排出権取引の組合せ	2008~ 2012	10.1~10.4	15.5~16.6	8.5~8.9	4.6~4.8
北米	Palmer et al. (1995)	米国メリーランド州 (電力)	社会的費用を 勘案した施設整備	2008	49	99	73	90
	Burtraw et al. (1999)	米国 (電力)	炭素税率を変化	2010	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> とも増税率と同削減率上昇 (温室効果 ガスで9			
	Caton et al. (2000)	カナダ (交通・発電・住宅)	燃料轉換・ 省エネ等総合対策	2010		9	7	1
	STAPPA/ALAPCO (2000)	米国4都市	燃料轉換・ 省エネ等総合対策	2008~ 2012	7~15	2~41	4~17	1~12
	慶応義塾大学(1999)	北京市 (熱供給部門)	高効率石炭ボイラの導入	1996年実績 との比較	20.6	30.8		
中国	Aunan et al. (2000a)	山西省 (石炭燃焼)	ボイラ改良	最新年	17	17		17
			洗炭		10	40		15
日本	島田 et al. (2001)	愛知県	省エネ等総合対策	2010	16.0~23.2		6.2~11.9	4.6~10.7
世界	Complairville et al. (1994)	OECD諸国	炭素税(60 €/炭素)	2010	12	13	10	

### 5.3.3.2 副次的便益の政策形成への適用性向上のための課題

費用が高いとされる地球温暖化対策の正当性（便益）を定量的に説明するためには費用便益分析が必要となり、対策の直接便益や副次的便益を貨幣換算した形で表現する必要がある。

地球温暖化対策の副次的便益を勘案した政策決定手法を導入するためには、まずその前提として、費用便益アプローチが行政に定着していることが求められる。生命や健康の価値を貨幣換算する技術的・倫理的困難性や実際に対策費用を負担する事業者がその便益を被る訳ではないことなどから、費用便益アプローチは行政現場に普及していないのが現状であるが、米国や英国などにおいては環境対策導入にあたってこのようなアプローチは必須となりつつあり、わが国などにおいても定量的政策評価の流れのなかにおいて今後の普及が見込まれる。

その際の便益の推計方法に関しては、第3章で記述したとおり、ベースラインの設定方法、大気汚染物質濃度の予測方法、便益の貨幣換算方法などがその構成要素としてあげられるが、行政現場で受け入れられるためには、これら手法を確立するとともに、複数の地域・主体により活用しその結果を比較する場合には方法を統一しておく必要がある。

### 5.3.4 大気環境政策の連携・統合に向けた具体的提案

現実の行政組織においては、トップダウン型の政策統合を実現しようとする場合、組織・定員や予算の縮減への懸念などから抵抗が大きい。仮に実現した場合でも、統合した組織のビジョン、その実質的なメリットなどを担当者間で共有できず、統合政策の実施にまで至らない場合が多い。たとえば、地域や媒体ごとの縦割り行政を改善しようとして設けた「総合政策局」は、必ずしも所期の目的どおりに機能していないことが多い。

このように行政組織がそれぞれの目的・背景に応じて独立した動きにならざるを得ないなかで、実質的に連携・統合する効果のある業務分野において各種機能をにぎう共通のプラットフォームを形成し、効果的・効率的な施行を追求していくことが行政現場での現実的な対応であろう。

大気環境分野において共通のプラットフォームを形成するに値するものとして、筆者は以下のような業務における連携・統合を提案したい。

#### ① インベントリ(排出目録)の整備:

大気汚染物質と温室効果ガスの発生源情報の統合的収集・整理

#### ② 排出源や大気環境のモニタリング:

同一の排出源からの大気汚染物質と温室効果ガスの排出状況の効率的測定・監視

#### ③ 各種対策の費用効果分析:

副次的効果・便益を勘案した大気汚染防止と地球温暖化緩和のための各種対策の総合的検討

#### ④ 基本計画や行動計画の策定:

大気汚染防止と地球温暖化緩和の両方の観点からみた総合的計画の策定

#### ⑤ 市民の参加を呼びかける普及啓発:

家庭での節電や節度ある運転など市民の心がけ対策を大気汚染防止と地球温暖化緩和の両面から訴求

#### ⑥ 民間企業における投資の判断:

環境会計の導入を通じ大気汚染防止・地球温暖化緩和の両面から設備投資を総合判断

#### ⑦ 実施した対策の評価:

行政における政策評価や民間企業における経営評価の際の統合的な評価

地球温暖化対策の副次的効果・便益の推計評価モデルを開発し、共通のプラットフォームの業務・作業での活用を積み重ねていくことで、大気汚染対策と地球温暖化対策の連携のメリットを共有し、それが波及・伝播していった結果的に両政策の統合が進んでいるというシナリオが、わが国における統合的な大気環境政策実現への道筋であると考えられる。

## 5.4 まとめ

本章では、わが国の大気汚染対策の歴史と近年の大気環境問題の課題をレビューしたうえで、この課題に対応するための新たな大気環境政策の展開のあり方およびこのなかでの大気汚染対策と地球温暖化対策の関連を考察した。また、この関連性を踏まえて、大気汚染対策と地球温暖化対策の統合政策の意義・要請を再整理し、地球温暖化対策のもつ副次的効果・便益の統合政策形成への現実的な適用方策と課題を提示するとともに、適用のための体制整備、すなわち地球温暖化対策と大気環境対策の連携・統合のあり方を提案した。

そのポイントは、次のとおりである。

- 1) わが国では、激甚な産業公害型の大気汚染を成功裏に克服した後、都市生活型の大気汚染と地球温暖化問題の2つの大きな大気環境問題に直面しており、社会経済構造にまで対策の視野を広げる必要がある点で両問題へのアプローチは共通している部分もあるが、影響の性格や対策の経緯が大きく異なることから両対策の統合は進んでいないこと。
- 2) 交通起因の大気汚染問題への対処と地球温暖化問題への対処では、多種多様な発生源への対処と革新的技術の大量普及が求められている点で課題を共有しており、これらに対応するための税制のグリーン化や環境税の導入にあたっては、両者が個別に検討を進めるより、複数の政策ニーズから導入を訴えることにより説得力が増すこと。
- 3) このほか、事業者・行政・住民の間の自主協定、総量規制、環境影響評価、枠組み規制といった政策オプションのなかで、大気汚染対策と地球温暖化対策の連携・統合の可能性があること。
- 4) 実際の行政現場への適用性を勘案すると、大気汚染物質の削減量（副次的効果）の提示による活用も十分有効なものと考えられるとともに、経済評価した形での副次的便益の行政判断における活用を進めるためには、対策オプション選択にあたっての費用

便益分析が浸透していることが前提条件であること。

- 5) 副次的効果・便益を活用した地球温暖化対策と大気環境対策の連携・統合が望まれ、その現実的な実現方策として、排出目録の整備、排出削減計画策定、費用効果分析等の共同実施を積み重ね、そのメリットを共有するなかで結果的に政策統合が図られていくというシナリオが考えられること。

## <文献>

- 1) OECD, 日本の環境政策レビュー, 1974.
- 2) 公害健康被害補償予防協会, 日本の大気汚染経験, 157pp., 1997.
- 3) 環境省, 環境白書, 2002.
- 4) OECD, OECD レポート: 日本の環境政策, 213pp., 1993.
- 5) 安井至, 21 世紀の環境予測と対策, 189pp., 2000.
- 6) Alfsen, K. H., H. Birkelund, M. Aaserud, Impacts of an EC Carbon/Energy Tax and Deregulating Thermal Power Supply on CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> Emissions, *Environmental and Resource Economics* 5, 165-189, 1995.
- 7) Barker, T., K. E. Rosendahl, Ancillary Benefits of GHG Mitigation in Europe: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and PM10 reductions from policies to meet Kyoto targets using the E3ME model and EXTERNE valuations, Ancillary Benefits and Costs of Greenhouse Gas Mitigation, Proceedings of an Expert Workshop (OECD *et al.*), Paris, 39pp., 2000.
- 8) Palmer, K., A. Krupnick, H. Dowlatabadi, S. Siegel, Social Costing of Electricity in Maryland: Effects on Pollution, Investment, and Prices, *Energy Journal*, Vol. 16, No. 1, 1-25, 1995.
- 9) Burtraw, D., A. Krupnick, K. Palmer, A. Paul, M. Toman, and C. Bloyd, Ancillary Benefits of Reduced Air Pollution in the US from Moderate Greenhouse Gas Mitigation Policies in the Electricity Sector, Discussion Paper 99-51, Resources for the Future, Washington, D.C., 19pp., 1999.
- 10) Caton, R., S. Constable, Clearing the Air: A Preliminary Analysis of Air Quality Co-Benefits from Reduced Greenhouse Gas Emissions in Canada, David Suzuki Foundation, Vancouver, 23pp., 2000.
- 11) STAPPA and ALAPCO, Reducing Greenhouse Gases and Air Pollution: A Menu of Harmonized Options, Ancillary Benefits and Costs of Greenhouse Gas Mitigation, Proceedings of an Expert Workshop (OECD *et al.*), Paris, 14pp., 2000.
- 12) 慶應義塾大学, 中国北京市における熱供給システムの改良に伴う省エネルギーと環境汚染物質 (SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) 削減の潜在力等に関する基礎調査, 共同実施等推進基礎調査 (NEDO), 11pp., 2000.
- 13) Aunan K., J. Fang, G. Li, H. M. Seip, H. Vennemo, Co-Benefits from CO<sub>2</sub>-emission reduction measures in Shanxi, China- a first assessment, CICERO working Paper



2000:7, Oslo, 52pp., 2000a.

14) 島田幸司, 溝口真吾, 松岡譲, 地球温暖化対策が地域大気環境に及ぼす副次的効果に関する研究, 土木学会論文集 No. 685/VII-20, 135-146, 2001.

15) Complainville, C., J. O. Martins, 1994, NO<sub>x</sub>/SO<sub>x</sub> Emissions and Carbon Abatement, Economics Department Working Papers No. 151, OECD, Paris, 26pp., 1994.

## 結論

本研究は、地球温暖化対策の促進とその最適な設計を目的として、エネルギーエンドユースモデルを活用して個別具体的な対策群の詳細な効果分析を行ったものである。このなかで、とくにこれら各種対策のもつ副次的効果に焦点をあて、副次的効果推計モデルを開発し、地球温暖化対策の有する大気環境改善上の副次的効果の定量的評価を可能にした。

具体的には、地球温暖化対策の設計に必要となる温室効果ガス排出量推計モデル開発の現状と課題を整理したうえで、これまで十分に行われていなかった個別具体的な対策ごとの排出削減効果の分析を行い、重点的に実施すべき対策の抽出手法を提示した。

つぎに、これら地球温暖化対策のもつ副次的効果・便益の推計に関する世界的な動向を踏まえ、これまでこのような推計が行われていなかったわが国に適用すべく、大気環境上の副次的改善効果を推計するモデルを開発した。この地球温暖化対策の副次的効果推計モデルを具体的な地域に適用して、副次的効果の定量化を行うとともに、対策別の効果も分析し、地球温暖化緩和と大気環境改善の両面からみた対策評価の手法を提示した。

さいごに、このような地球温暖化対策の副次的効果・便益を政策形成に活用するための諸方策や地球温暖化対策と大気環境対策の連携・統合のあり方を提案した。

以下、本研究で得られた成果を整理し、総括する。

序論では、地球温暖化問題を巡る国内外の動向を概観したうえで、最適な地球温暖化対策の設計に際して個別対策の効果分析が必要となることや対策を本格化させるためにはその副次的な効果・便益も評価することが重要であることを示し、本研究の構成・流れを示した。

第1章では、温室効果ガス排出推計のためのトップダウンモデルとボトムアップモデルを概説し、ボトムアップモデルに属するエネルギーエンドユースモデルの開発・利用状況をレビューした結果、気候変動枠組条約および京都議定書に基づく国際約束の履行や二酸化炭素排出削減に関する国内政策の立案の過程で、先進国、途上国を問わずこのタイプの推計モデルを効果的に活用していることや関係主体が参加した形での政策形成推進にこのような推計モデルが活用され始めていることなどが分かった。

とくに、これまでは一定の社会経済の前提のもとでの温室効果ガスの将来排出総量を単

に推計したり、いくつかのシナリオ間で対策に要する総費用を推計したものがほとんどであり、それぞれの国・地域における重点対策事項の抽出など具体的な政策形成に貢献できるよう、個別の地球温暖化対策の温室効果ガス排出削減効果を分析し比較検討しているモデル推計の事例はほとんどないことが判明した。

また、今後もよりの確な政策決定のためには、以下のような方向でのエンドユースモデルの高度化が期待されていることも示された。

- 1) 個別エネルギー技術に着目した対策効果の分析
- 2) 最適化モデルへの社会的要素の取り込み
- 3) 技術に係る費用の将来見込みの精緻化と普及政策との連動
- 4) CDM プロジェクト評価のための適用
- 5) エネルギーエンドユースモデルの国際比較・協調

第2章ではまず、本章ではまず、第1章で有用性を確認したエネルギーエンドユースモデルに属する AIM エンドユースモデルを活用して、わが国の近未来の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出量を推計し、次のような結果を得た。

- 1) 参照ケースでは 2010 年に 1990 年比で約 24%、2020 年にて約 25%CO<sub>2</sub> 排出量が増加する。とくに交通部門での増加が著しく、2020 年では 90 年比で約 62%増大する。
- 2) 対策ケースでは 2010 年に 1990 年比で約 5%、2020 年に約 15%CO<sub>2</sub> 排出量が削減される。家庭部門、産業部門およびエネルギー転換部門では 2020 年時点で 90 年比 20%～30%の削減となっている。

つぎに、このモデルを用いた推計を含むわが国の CO<sub>2</sub> 排出量の削減余地を巡る議論を概観し、多種多様な対策メニューを整合性と透明性をもちながら積み上げていく困難さを改めて確認した。

そして、複雑なプロセスを最適化するモデルでは対策ごとの削減寄与への分解が困難であり、第三者への説得性が必ずしも十分ではないという課題解決に向け、将来の技術の進展・代替をシミュレートした推計結果を対象に、マクロ指標および個々の対策技術等の両面からそれらが CO<sub>2</sub> 排出削減に果たした寄与を一定の条件で分析した。

このうちマクロ指標による分析の結果、対策ケースの排出削減を達成するためには、

- 産業部門においては過去 25 年と同様のエネルギー効率改善率の継続
- 家庭および交通部門では過去のエネルギー効率の低下速度年率 2~3%を反転させること

● 民生部門における炭素集約度を年率 1.6~1.8%のスピードで低下させることが必要となることを示した。また、炭素集約度対策とエネルギー効率対策の両者が連携した対策推進の重要性が示唆された。

さらに、対策技術別の分析の結果、たとえば低燃費自動車および高効率エアコンの排出削減総量に対する寄与はそれぞれ 11%および 8%を占めることが分かり、これらのキーテクノロジーへ集中的に導入促進施策を講ずることが極めて重要であることを示した。

今回の分析は技術の費用効果を比較した既往の研究と比較して、現実の技術代替により近い動的メカニズムをもって将来を推計し、その結果を個別対策技術等の寄与の観点から分析している点に特徴がある。

第 3 章では、地球温暖化対策の有する副次的便益に関し、その概念を明らかにしたうえで推計方法を整理し、マクロ経済モデルを用いたトップダウン推計に比べて地域積み上げ型（ボトムアップ型）のほうが対策メニュー別の詳細な副次的効果や便益を推計するのに適していることを示した。

つぎに、地球温暖化対策を実施することによる大気環境関連の副次的便益の発現に関する研究動向をレビューし考察を進めた結果、以下のことが明らかになった。

- 1) トップダウン型の推計では対策メニューとして炭素税のみを考慮しているが、ボトムアップ型推計では多様な対策メニューを織り込んでいる。
- 2) 1 炭素トン削減あたり -8~800 米ドルの費用を要する地球温暖化対策を実施することで、5~500 米ドルの副次的便益の発生が推計されている。
- 3) 対策費用に対する便益の比は 0.1~3.7 となっており、先進国を対象とした推計では 1 以下、途上国を対象とした推計では 1 以上となっている。
- 4) 近年の複数国を対象とした研究プロジェクトでは、地域積み上げ型の推計により対策・技術別の副次的効果・便益の分析が進められ始めており、これらの成果は政策形成に大きく役立つ。
- 5) 地球温暖化対策の副次的便益を政策活用するうえで、先進国と開発途上国で共通したメリットとして、①「後悔しない対策」の範囲拡大、②短期的かつ身近な便益のアピールによる政策支持層の拡大・強化、③排出量取引より国内対策強化への誘導、の 3 点があげられる。
- 6) 先進国と途上国の間の国際協力面での活用場として、京都議定書に基づくクリーン開発メカニズム（CDM）があり、本メカニズムにおいて副次的便益を考慮することに

より両者の便益を増やせる可能性がある。

さいごに、地球温暖化対策の副次的便益の推計方法について、考慮すべき便益の範囲と表現方法、参照ケース（ベースライン）の設定、大気拡散の予測と健康影響の経済評価、の3つの観点から検討し、

- 推計手法の確実性などから判断して、当面は大気汚染分野を中心とした副次的便益の推計を進めることが適当であること
- 健康影響の貨幣換算（経済評価）には困難な問題も多く、地球温暖化対策による大気汚染物質の排出削減量（副次的効果）による表現が適当な場合もあること
- 参照ケースにどこまで将来の排出規制強化プログラム等を織り込むのかを明確化していく必要があること

など、研究遂行上の留意点等を整理した。

第4章では、地球温暖化対策が地域大気環境に及ぼす副次的効果を定量的に把握するため、行政担当者等を念頭においたインターフェイスを備えた推計モデル（ALICE）を開発し、愛知県を対象にこのモデルを適用して推計分析を行った。得られた主な成果をまとめると次のとおりである。

- 1) 県の地球温暖化対策地域推進計画で取り上げた3つのレベルの対策を実施することにより、参照ケースと比較すると、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)で16～23%の排出削減に対して、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)で6～12%、粒子状物質(PM)で5～11%の副次的な排出削減効果を得た。これは、欧州やカナダなどにおける既報値と同程度の副次的効果である。
- 2) 対策の種類別に、参照ケースから対策ケースへの削減量に対する削減寄与率をみると、  
①産業部門では、CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>とも鉄鋼部門自主行動計画の占める割合が大きいこと、  
②交通部門では、自家用乗用ガソリン車の燃費向上が6%近いCO<sub>2</sub>の削減寄与率を有しているとともに、ハイブリッド自動車の導入はCO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>で1～3%、モータリシフトの推進ではCO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>で1～2%の削減寄与率が示されていること、③家庭/業務部門では、削減寄与率のNO<sub>x</sub>/CO<sub>2</sub>比が電力排出係数の低減に係る比と同じである対策がほとんどであること、が明らかになった。このような推計を行うことにより、地方公共団体の地域特性に応じた対策の優先順位付けに役立てることができる。
- 3) 対策レベルによる感度分析の結果、対策のレベルを上下させることにより、排出削減効果が大きく変化する対策として、「高周波インバータ付き照明機器の導入」、「建設業にける自主行動計画」などが抽出された。このような分析は、数多くある対策のなか

から政策的に重点化する際に有用である。

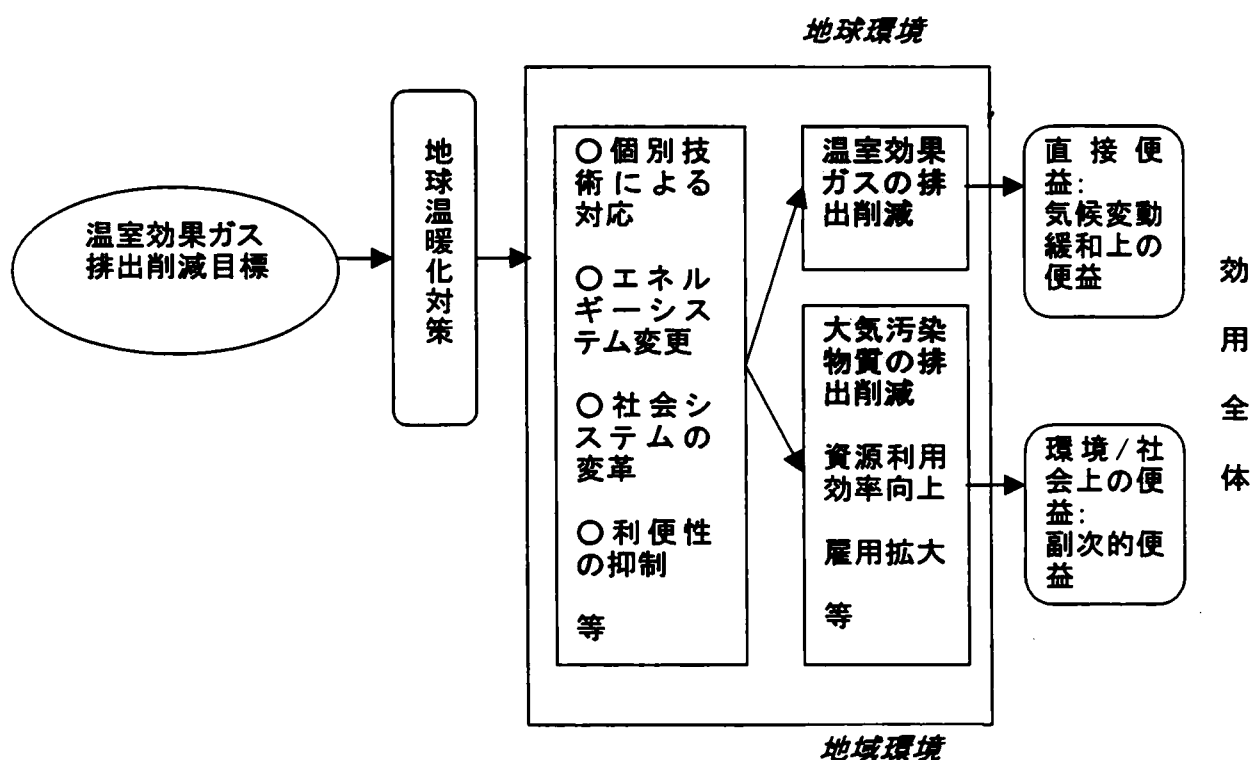
- 4) 個別分野の排出増減を運転量、エネルギー効率、排出係数といった要因別に分析すると、エネルギー効率向上が排出削減に大きく寄与している分野は家庭エアコン、排出係数の低減が大きく寄与している分野はシャワーなどであることが分かった。このような要因分析は、排出構造に着目した的確な施策展開に活用できよう。
- 5) シナリオ分析の結果、活動量が見込みより 10%増加（世帯数は 1%増加）することに伴う CO<sub>2</sub> 排出量の増加を対策強化により相殺するためには、自主行動計画や心がけ対策の完全実施に加え、低公害車や高効率機器の導入をさらに 30%程度進めることが必要となるが、PM などの排出量は完全には相殺されないことが分かった。地球温暖化対策と大気環境対策の統合政策を推進するにあたっては、とくに交通部門において、CO<sub>2</sub> 排出量と PM などの排出量が必ずしも連動しないことに留意すべきである。
- 6) 目標年における参照ケースおよび対策ケースでの NO<sub>x</sub> および PM の排出強度（全部門計）の地域分布を、ある排出強度以上の地域に居住する人口の累積数でみると、地球温暖化対策を講じることで全体的に排出強度が少ない方向に移行している。とくに、NO<sub>x</sub> については 40t/km<sup>2</sup> 前後の排出強度の地域での大きな削減が期待できる。このような排出強度の分布に関する分析によって、地域別の対策効果の発現状況の把握とこれに基づくきめ細かな対策プログラムの策定に貢献できる。

第 5 章では、わが国の大気環境対策の歴史と特徴をレビューし、近年の課題に対処するための新たな大気環境政策の展開およびこのなかでの大気汚染対策と地球温暖化対策の関連を考察したうえで、地球温暖化対策と大気環境対策の連携・統合のあり方を示した。

その要旨は、次のとおりである。

- 1) わが国では、激甚な産業公害型の大気汚染を成功裏に克服した後、都市生活型の大気汚染と地球温暖化問題の 2 つの大きな大気環境問題に直面しており、社会経済構造にまで対策の視野を広げる必要がある点で両問題へのアプローチは共通している部分もあるが、影響の性格や対策の経緯が大きく異なることから両対策の統合は進んでいないこと。
- 2) 交通起因の大気汚染問題への対処と地球温暖化問題への対処では、多種多様な発生源への対処と革新的技術の大量普及が求められている点で課題を共有しており、これらに対応するための税制のグリーン化や環境税の導入にあたっては、両者が個別に検討を進めるより、複数の政策ニーズから導入を訴えることにより説得力が増すこと。

- 3) このほか、事業者・行政・住民の間の自主協定、総量規制、環境影響評価、枠組み規制といった政策オプションのなかで、大気汚染対策と地球温暖化対策の連携・統合の可能性があること。
- 4) 実際の行政現場への適用性を勘案すると、大気汚染物質の削減量（副次的効果）の提示による活用も十分有効なものと考えられるとともに、経済評価した形での副次的便益の行政判断における活用を進めるためには、対策オプション選択にあたっての費用便益分析が浸透していることが前提条件であること。
- 5) 副次的効果・便益を活用した地球温暖化対策と大気環境対策の連携・統合が望まれ、その現実的な実現方策として、排出目録の整備、排出削減計画策定、費用効果分析等の共同実施を積み重ね、そのメリットを共有するなかで結果的に政策統合が図られていくというシナリオが考えられること。



図結-1 地球温暖化対策の波及性

地球温暖化対策は図結-1 に示したように非常に幅広い波及性を有しているが、本研究が主に対象としたのは網掛けの部分である。すなわち、本研究では、エネルギーエンドユースモデルを用いた地球温暖化対策の効果分析と地域積み上げモデルを用いた大気汚染軽減上の副次的効果の分析、さらにはこれら成果の政策形成の活用方策やこれを通じた大気環境政策と地球温暖化対策の連携方策を論じた。

環境政策内の統合としては、本研究で取り上げたもののほかにも下図に示すように地球温暖化対策と資源・リサイクル対策が重要な課題となる。また、地球温暖化のもつ効果はさらに広く、今後は雇用や社会保障の持続性といった観点からの連携・統合も求められることは必至である。このような統合政策が実現しなければ、途上国・先進国を問わず根源的な地球環境政策の推進は困難にぶつかるであろう。

21 世紀の環境政策は、経済・社会政策との統合を本格的に進めなければならず、地球温暖化対策という大きなプラットフォームは統合政策推進のための格好の舞台である。複数の政策目標に向けた最適なポリシーミックスを検討できる本格的な統合政策の実現に向け、本研究で開発・適用したような政策ツールを活用して、国内外で芽生えつつある統合政策の萌芽を育てていくことが今後の課題である。



## 附錄 I

# 附録Ⅰ AIM エンドユースモデルの部門別のモデルと エネルギーサービス技術

1	産業部門 .....	I-1
1.1	鉄鋼業 .....	I-1
1.2	セメント工業 .....	I-6
1.3	石油化学工業 .....	I-10
1.4	紙パルプ工業 .....	I-14
1.5	その他産業 .....	I-17
2	家庭部門 .....	I-23
2.1	家庭部門のモデル化 .....	I-23
2.2	家庭部門のエネルギーサービス技術 .....	I-29
3	業務部門 .....	I-32
3.1	業務部門のモデル化 .....	I-32
3.2	業務部門のエネルギーサービス技術 .....	I-35
4	交通部門 .....	I-37
4.1	交通部門のモデル化 .....	I-37
4.2	交通部門のエネルギーサービス技術 .....	I-39
5	エネルギー転換部門 .....	I-41
5.1	ガス製造業 .....	I-41
5.2	石油精製業 .....	I-43
5.3	電気事業者 .....	I-45

AIM エンドユースモデルでは、まず最終需要部門である産業部門、家庭部門、業務部門、交通部門のエネルギーサービス量や技術選択を決定し、エネルギー消費量が算定される。そして、最終需要部門のエネルギー需要量に基づいて、エネルギー転換部門の技術選択を決定し、わが国全体のエネルギー消費量及び二酸化炭素排出量が算定される。附録 I では、我が国の各部門をどのようにモデル化したかを説明し、そのモデルに対応するように整備したエネルギー技術に関して示した。

## 1 産業部門

産業部門では、エネルギー多消費産業である鉄鋼業、セメント業、石油化学工業、紙パルプ業と、その他産業に分類して分析を行っている。エネルギー多消費産業の 4 部門では、各業種の製造工程及び機器のフローを忠実にモデル化しており、各部門独自のエネルギーサービス技術による詳細なエネルギー消費構造分析が可能になっている。エネルギー多消費産業で産業部門における二酸化炭素排出量の半分程度を占めている。また、その他産業では、農業、鉱業、建設業、食料品業、繊維業、その他窯業土石、その他化学工業、非鉄金属、金属機械、その他製造業に分類して分析を行っているが、これらは、最終製品が多種に及び、各産業について個々の技術情報を採取してモデル分析を行うことが現実的に不可能である。そこで、その他産業については業種横断的対策技術を考慮し、簡易なエネルギーサービスフローを想定した。

### 1.1 鉄鋼業

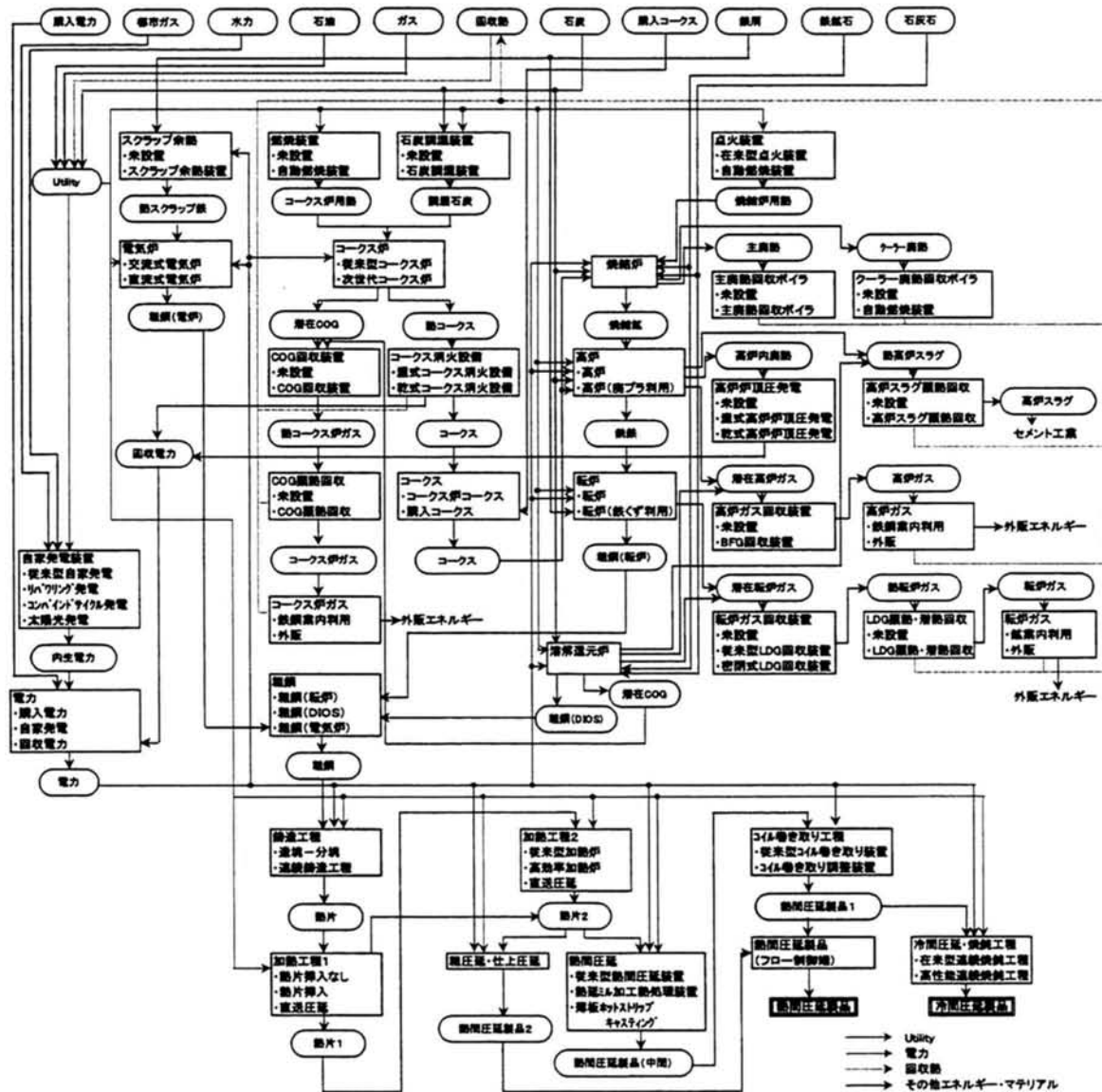
#### 1.1.1 鉄鋼業のモデル化

鉄鋼の製造工程は、粗鋼を生産するまでの工程と、粗鋼を鑄造・圧延によって鋼材を生産する工程とに大別できる。粗鋼を生産するまでの工程には、平炉法、高炉法、電炉法がある。但し、我が国では数十年前より平炉法による粗鋼の生産は行われていない。

高炉法では、原料の鉄鉱石は焼結炉で副原料の石灰石と焼結され、還元剤のコークスとともに、高炉炉頂から投入される。焼結鉱とコークスは、高炉内で炉底から吹き込まれた空気とともに反応し、高炉炉底で溶銑と不純物に別れ取り出される。高炉で生産された銑鉄は、転炉に移され石灰石等の副原料を加え成分調整し、酸素を吹き込み銑鉄中の炭素を酸化し粗鋼となる。一方、電気炉法は、電気炉中で超高電圧のアーキによって溶解した鉄スクラップを成分調整して、粗鋼を生産する。また、現在、高炉法を代替する製鋼法として、熔融還元製鉄は 2000 年以降の導入を目指して研究開発中である。熔融還元製鉄の特徴として、容易な生産調整、エネルギー原単位低減、石炭資源制約の緩和などがあげられる。

高炉法や電炉法によって生産された粗鋼は、鑄造装置により適当な大きさのスラブとされ、熱間圧延設備によって各種熱間圧延製品となる。高品質や高強度の鋼板を製造する場合には、熱間圧延の後、冷間圧延や焼鈍処理を行い、冷間圧延製品を製造する。

本モデルでは、これらの製造工程を図附録 I-1 のようにモデル化した。熱間圧延製品及び冷間圧延製品を最終エネルギーサービスとして、これらの生産量を満たすように技術選択ロジックによって各エネルギーサービス技術の導入が決定される。鉄鋼の製造工程には多種にわたる燃料が用いられているが、主要な燃料以外は Utility として一括して扱っている。また、鉄鋼業では、様々な工程で排ガスや廃熱が発生しており、それらを回収利用する技術が導入されているが、このモデルではそれらを忠実に再現している。



図附録 I-1 鉄鋼業におけるエネルギーサービスシステム

### 1.1.2 鉄鋼業のエネルギーサービス技術

鉄鋼業における技術選択は、表附録 I -1～表附録 I -3に示すエネルギーサービス技術を対象としている。表中における”産出”の列は、各エネルギーサービス技術が産出するエネルギー、財、サービスの量を示している。また、”投入”の列は、”産出”の列に示されている量のサービス等を産み出すために必要なエネルギー、財、サービスの量を示している。”技術価格”は、”産出”の列に示されている量のサービス等を産み出すために必要な規模の技術（装置・設備）の価格を示している。この価格には、生産に必要となるエネルギー等を購入するための価格は含まれていない。

なお、表附録 I -1～表附録 I -3において、コークス炉工程～転炉工程では高炉法による粗鋼、電気炉工程では電炉法による粗鋼、溶融還元炉工程では溶融還元炉法による粗鋼、それぞれを1トン製造するために必要となる技術の価格や投入・産出されるエネルギー量等を示している。また、 casting 工程～加熱工程では粗鋼1トンを最終製品にするために必要となる技術の価格や投入・産出されるエネルギー量等を示している。電力や Utility では、 $10^2\text{Mcal}$  のエネルギーを生産するために必要となる技術の価格や投入・産出されるエネルギー量等を示している。

表附録 I -1 鉄鋼業のエネルギーサービス技術一覧(1)

技術名	技術価格(円)	投入	産出
コークス炉工程	石炭調湿工程	石炭調湿装置未設置	0 調湿石炭 36.81 $10^2\text{Mcal}$
		石炭調湿装置	1,500 調湿石炭 36.81 $10^2\text{Mcal}$
	乾燥工程	自動乾燥制御未設置	0 熱1 3.74 $10^2\text{Mcal}$
		自動乾燥制御	n.a. 熱1 3.74 $10^2\text{Mcal}$
	コークス炉工程	在来型コークス炉	n.a. 熱コークス 36.81 $10^2\text{Mcal}$ 潜在COG 9.00
		次世代コークス炉	n.a. 熱コークス 36.81 $10^2\text{Mcal}$ 潜在COG 9.00
	コークス消火設備	湿式コークス消火設備	5200 コークス(コークス炉) 36.81 $10^2\text{Mcal}$
		乾式コークス消火設備	6500 コークス(コークス炉) 36.81 $10^2\text{Mcal}$ 回収熱 0.77 $10^2\text{Mcal}$ 回収電力 0.29 $10^2\text{Mcal}$
	コークス炉ガス回収設備	COG回収設備未設置	0 熱COG 0.00 $10^2\text{Mcal}$
		COG回収設備	n.a. 熱COG 9.00 $10^2\text{Mcal}$
	COG顕熱回収設備	顕熱回収設備未設置	0 COG 9.00 $10^2\text{Mcal}$
		顕熱回収設備	800 COG 9.00 $10^2\text{Mcal}$ 回収熱 0.18 $10^2\text{Mcal}$
	コークス炉ガス		0 回収熱 0.93 $10^2\text{Mcal}$
			外販エネルギー 0.07 $10^2\text{Mcal}$
	コークス	コークス炉コークス	0 コークス 1.00 $10^2\text{Mcal}$
		購入コークス	0 コークス 1.00 $10^2\text{Mcal}$
焼結炉工程	点火装置	在来型点火装置	0 熱2 0.48 $10^2\text{Mcal}$
		自動点火装置	100 熱2 0.48 $10^2\text{Mcal}$
	焼結炉工程	焼結炉	n.a. 焼結鉱 1.34 $10^2\text{Mcal}$ 主廃熱 0.27 $10^2\text{Mcal}$ クーラー廃熱 0.60 $10^2\text{Mcal}$
			鉄鉱石 1.41 t 石灰石 0.30 t 熱2 0.48 $10^2\text{Mcal}$ 石炭 1.02 $10^2\text{Mcal}$ コークス 3.32 $10^2\text{Mcal}$ 電力 0.41 $10^2\text{Mcal}$
	主廃熱回収	主廃熱回収なし	0 回収熱 0 $10^2\text{Mcal}$
		主廃熱回収	1500 回収熱 0.27 $10^2\text{Mcal}$
	クーラー廃熱回収	クーラー廃熱回収なし	0 回収熱 0 $10^2\text{Mcal}$
		クーラー廃熱回収	3000 回収熱 0.60 $10^2\text{Mcal}$

表附録 I-2 鉄鋼業のエネルギーサービス技術一覧(2)

技術名	技術価値(円)	産出	投入
高炉工程	高炉工程	高炉	n.a.
		鉄鉄	1.07 t
		潜在高炉ガス	13.10 10 <sup>2</sup> Mcal
		高炉スラグ	0.34 10 <sup>2</sup> Mcal
		高炉内廃熱	1.17 10 <sup>2</sup> Mcal
		熱高炉スラグ	0.34 t
	高炉(廃プラスチック利用) (25g/t鉄鉄投入)	追加投資	600
		鉄鉄	1.07 t
		潜在高炉ガス	13.10 10 <sup>2</sup> Mcal
		高炉スラグ	0.34 10 <sup>2</sup> Mcal
		高炉内廃熱	1.17 10 <sup>2</sup> Mcal
		熱高炉スラグ	0.34 t
	高炉炉頂圧発電	高炉炉頂圧発電未設置	0
		湿式高炉炉頂圧発電	2100
		乾式高炉炉頂圧発電	2600
	高炉スラグ顕熱回収	顕熱回収なし	0
		高炉スラグ顕熱回収装置	n.a.
		高炉スラグ	0.34 t
		高炉スラグ	0.34 t
		回収熱	0.64 10 <sup>2</sup> Mcal
	高炉ガス回収装置	高炉ガス回収装置なし	0
		高炉ガス	13.10 10 <sup>2</sup> Mcal
		高炉ガス	13.10 10 <sup>2</sup> Mcal
	高炉ガス	鉄鋼業内利用	0
		外販	0
		外販エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		外販エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
転炉工程	転炉工程	転炉	n.a.
		粗鋼(転炉)	1 t
		潜在転炉ガス	2.27 10 <sup>2</sup> Mcal
		鉄鉄	1.07 10 <sup>2</sup> Mcal
		鉄屑	0.07 10 <sup>2</sup> Mcal
		Utility	0.18 10 <sup>2</sup> Mcal
		電力	0.80 10 <sup>2</sup> Mcal
	転炉ガス回収工程	転炉ガス回収装置なし	0
		在来型転炉ガス回収装置	1960
		密閉式転炉ガス回収装置	2100
	LDG顕熱・潜熱回収	LDG顕熱・潜熱回収なし	0
		LDG顕熱・潜熱回収	2750
		転炉ガス	2.07 10 <sup>2</sup> Mcal
		回収熱	2.5 10 <sup>2</sup> Mcal
	転炉ガス	鉄鋼業内利用	0
		外販	0
		外販エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		外販エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
電気炉工程	スクラップ予熱	予熱なし	0
		熱スクラップ	1.05 t
		鉄くず	1.05 10 <sup>2</sup> Mcal
		電力	0.19 10 <sup>2</sup> Mcal
	スクラップ予熱装置	650	熱スクラップ
		1.05 t	鉄くず
		1.05 10 <sup>2</sup> Mcal	電力
		0 10 <sup>2</sup> Mcal	
	電気炉工程	交流式電気炉	n.a.
		粗鋼(電炉)	1 t
		熱スクラップ	1.05 t
		電力	3.73 10 <sup>2</sup> Mcal
		Utility	0.60 10 <sup>2</sup> Mcal
	直流式電気炉	5250	粗鋼(電炉)
		1 t	熱スクラップ
		1.05 t	電力
		3.41 10 <sup>2</sup> Mcal	Utility
		0.60 10 <sup>2</sup> Mcal	
溶融還元炉	溶融還元炉	溶融還元炉	22500
		粗鋼(DIOS)	1 t
		潜在コークス炉ガス	9.02 10 <sup>2</sup> Mcal
		潜在高炉ガス	13.10 10 <sup>2</sup> Mcal
		潜在転炉ガス	2.07 10 <sup>2</sup> Mcal
		主炭熱	0.60 10 <sup>2</sup> Mcal
		クーラー排熱	0.27 10 <sup>2</sup> Mcal
		高炉内排熱	1.17 10 <sup>2</sup> Mcal
		熱高炉スラグ	0.34 t
		石炭	60.24 10 <sup>2</sup> Mcal
		鉄鉱石	1.41 t
		石灰石	0.30 t
		Utility	2.06 10 <sup>2</sup> Mcal
		電力	1.68 10 <sup>2</sup> Mcal
粗鋼	粗鋼	粗鋼(転炉)	1 t
		粗鋼(DIOS)	1 t
		粗鋼(電気炉)	1 t
鋳造工程	鋳造工程	造塊一分解	n.a.
		熱片	0.987 t
		粗鋼	1 t
		電力	0.42 10 <sup>2</sup> Mcal
		Utility	1.93 10 <sup>2</sup> Mcal
	連続鋳造装置	4500	熱片
		0.987 t	粗鋼
		1 t	電力
		0.14 10 <sup>2</sup> Mcal	Utility
		0.13 10 <sup>2</sup> Mcal	

表附録 I-3 鉄鋼業のエネルギーサービス技術一覧(3)

		技術名	技術価値(円)	産出	投入
加熱工程	加熱工程1	熱片挿入なし	0	熱片1 0.987 t	熱片 0.987 t Utility 0.9 10 <sup>2</sup> Mcal
		熱片挿入	1000	熱片1 0.987 t	熱片 0.987 t Utility 0 10 <sup>2</sup> Mcal
		直送圧延	n.a.	熱片2 0.987 t	熱片 0.987 t Utility 0 10 <sup>2</sup> Mcal
	加熱工程2	在来型加熱炉	n.a.	熱片2 0.987 t	熱片1 0.987 t Utility 2.10 10 <sup>2</sup> Mcal
		高効率加熱炉	3000	熱片2 0.987 t	熱片1 0.987 t Utility 1.71 10 <sup>2</sup> Mcal
	粗圧延・仕上げ圧延	粗圧延・仕上げ圧延	n.a.	熱間圧延製品2 0.981 t	熱片2 0.987 t Utility 0.54 10 <sup>2</sup> Mcal 電力 0.88 10 <sup>2</sup> Mcal
	熱間圧延	従来型熱間圧延	n.a.	熱間圧延製品(中間) 0.981 t	熱片2 0.987 t Utility 0.54 10 <sup>2</sup> Mcal 電力 0.82 10 <sup>2</sup> Mcal
		熱延ミル加工熱処理	n.a.	熱間圧延製品(中間) 0.981 t	熱片2 0.987 t Utility 0.24 10 <sup>2</sup> Mcal 電力 0.82 10 <sup>2</sup> Mcal
	コイル巻取工程	在来型コイル巻取装置	n.a.	熱間圧延製品1 0.981 t	熱間圧延(中間) 0.981 t 電力 0.06 10 <sup>2</sup> Mcal
		コイル巻取調整装置	n.a.	熱間圧延製品1 0.981 t	熱間圧延(中間) 0.981 t 電力 0.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	熱間圧延製品	熱延薄板類	n.a.	熱間圧延製品 1 t	熱間圧延製品1 1 t
		熱間圧延鋼材	n.a.	熱間圧延製品 1 t	熱間圧延製品2 1 t
	冷間圧延・焼鈍工程	在来型連続焼鈍装置	n.a.	冷間圧延製品 1.004 t	熱間圧延製品1 0.981 t 電力 1.94 10 <sup>2</sup> Mcal Utility 4.45 10 <sup>2</sup> Mcal
		高性能連続焼鈍装置	10000	冷間圧延製品 1.004 t	熱間圧延製品1 0.981 t 電力 1.94 10 <sup>2</sup> Mcal Utility 3.55 10 <sup>2</sup> Mcal
電力	電力	購入電力	—	電力 1 10 <sup>2</sup> Mcal	購入電力 1 10 <sup>2</sup> Mcal
		自家発電	—	電力 1 10 <sup>2</sup> Mcal	自家発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal
	自家発電	従来型自家発電	1615	自家発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	Utility 3.23 10 <sup>2</sup> Mcal
		リパワリング	1723	自家発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	Utility 2.56 10 <sup>2</sup> Mcal
		コンバインドサイクル発電	2019	自家発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	都市ガス 2.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		水力発電		自家発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	水力 2.62 10 <sup>2</sup> Mcal
		太陽光発電		自家発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	太陽光 2.62 10 <sup>2</sup> Mcal
		回収電力		自家発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	回収電力 1 10 <sup>2</sup> Mcal
Utility	Utility	石炭		Utility 1 10 <sup>2</sup> Mcal	石炭 1 10 <sup>2</sup> Mcal
		石油		Utility 1 10 <sup>2</sup> Mcal	石油 1 10 <sup>2</sup> Mcal
		ガス		Utility 1 10 <sup>2</sup> Mcal	ガス 1 10 <sup>2</sup> Mcal
		回収熱		Utility 1 10 <sup>2</sup> Mcal	回収熱 1 10 <sup>2</sup> Mcal

## 1.2 セメント工業

### 1.2.1 セメント工業のモデル化

セメント製品の種類は、①ポルトランドセメント、②混合セメント、に大別される。これらは、石灰石を分解して製造されるポルトランドクリンカと、高炉スラグ等の混合材との含有率によって決定される。

ポルトランドセメントには、混合材の含有率が5%以下であることがJIS規格で定められているセメント（表附録I-4）で、日本のセメント生産量の8割を占めている。主に土木・建設構造物の建設用、左官用モルタルとして使用されている。混合セメントは、相当量の混合材を混合したセメントで、①高炉スラグ、②シリカ質混合材、③フライアッシュが混合材としてJIS規格に定められている。混合材の混合率は、セメントの種類によって異なり、高炉セメントでは5～70%、シリカセメント・フライアッシュセメントでは5～30%となっている。

セメント工業では、電力や燃料消費に伴う二酸化炭素排出のみならず、石灰石の分解によっても二酸化炭素が発生する。1990年度における窯業土石業（セメント業以外にガラス製造業などを含む）の二酸化炭素排出量は、石炭起因6.0MtC、電力起源2.6MtC、石灰石起源11.0MtC（二酸化炭素排出量調査報告書、1992）となっており、ポルトランドクリンカ製造のための石灰石分解に伴う寄与が非常に大きいことがわかる。そのため、混合セメントのシェアの拡大は、ポルトランドクリンカの消費量の削減につながり、しいては二酸化炭素排出量の削減につながる。

表附録 I-4 セメント種別生産量と混合材の割合(1992 年度)

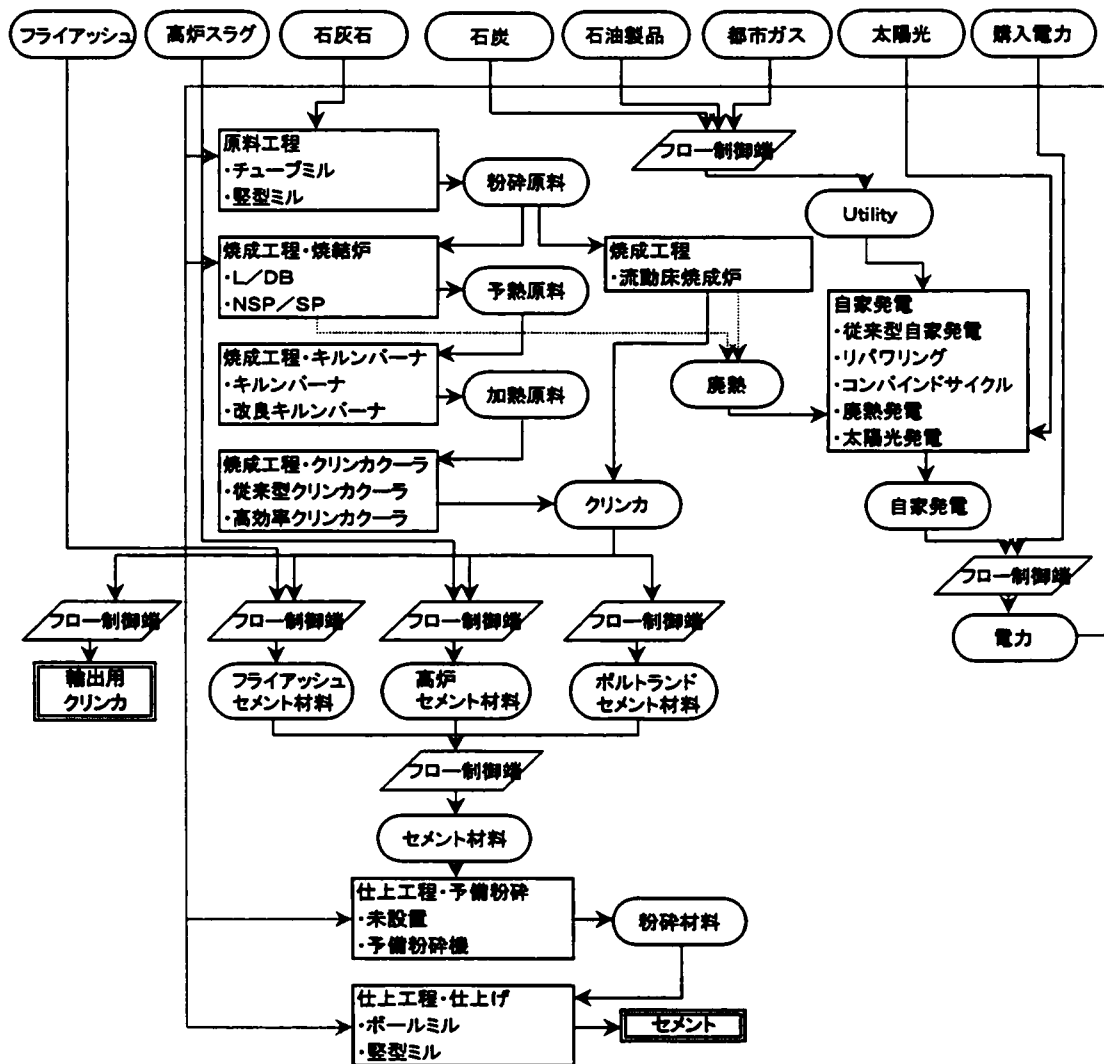
ポルトランドセメント			混合セメント			
製品種別	生産量(千t)	混合材(%)	製品種別	生産量(千t)	混合材(%)	
普通	69,480	5	高炉セメント	A	327	5～30
				B	16,374	30～60
				C	39	60～70
早強	3,417	-	シリカセメント	A		5～10
				B	48	10～20
				C	15	20～30
中庸熟	92	-	フライアッシュセメント	A	15	5～10
				B	346	10～20
				C	299	20～30
耐硫酸塩	5	-	規格外		187	
その他	1	-				
計	72,995		計		17,650	

\* セメントハンドブックより作成

\* 生産量は1992年度値



本モデルでは、これらの製造工程をのようにモデル化した。セメント生産量及び輸出用ポルトランドクリンカ生産量を最終エネルギーサービスとしている。セメント材料に対する高炉セメントやフライアッシュのシェアをシナリオで与えることで、混合セメントシェアの拡大による二酸化炭素排出削減効果の分析を行うことができる。



図附録 I-2 セメント工業のエネルギーサービスシステム

### 1.2.2 セメント工業のエネルギーサービス技術

セメント工業における技術選択は、表附録 I -5に示すエネルギーサービス技術を対象としている。表中における“産出”の列は、各エネルギーサービス技術が産出するエネルギー、財、サービスの量を示している。また、“投入”の列は、“産出”の列に示されている量のサービス等を産み出すために必要なエネルギー、財、サービスの量を示している。“技術価格”は、“産出”の列に示されている量のサービス等を産み出すために必要な規模の技術（装置・設備）の価格を示している。この価格には、生産に必要となるエネルギー等を購入するための価格は含まれていない。

なお、表附録 I -5において、原料工程～粉砕工程ではクリンカやセメントを1トン製造するために必要となる技術の価格や投入・産出されるエネルギー量等を示している。電力や Utility では、 $10^2\text{Mcal}$  のエネルギーを生産するために必要となる技術の価格や投入・産出されるエネルギー量等を示している。

表附録 I-5 セメント工業のエネルギーサービス技術一覧

技術名	技術価格(円)	技術説明	投入
原料工程	チューブミル	2875 粉砕原料 1 t	電力 0.280 10 <sup>2</sup> Mcal 石灰石 1.15 t
	堅型ミル	1917 粉砕原料 1 t	電力 0.220 10 <sup>2</sup> Mcal 石灰石 1.15 t
焼成工程	L/DB	(2208) 予熱原料 1 t 廃熱 0.437 10 <sup>2</sup> Mcal	粉砕原料 1 t 石灰石 9.43 10 <sup>2</sup> Mcal 電力 0.257 10 <sup>2</sup> Mcal
	NSP/SP	2760 予熱原料 1 t 廃熱 0.437 10 <sup>2</sup> Mcal	粉砕原料 1 t 石灰石 6.57 10 <sup>2</sup> Mcal 電力 0.257 10 <sup>2</sup> Mcal
	キルンバーナ	n.a. 加熱原料 1 t	予熱原料 1 石灰石 0.02 10 <sup>2</sup> Mcal
	キルンバーナ改良	n.a. 加熱原料 1 t	予熱原料 1 t 石灰石 0 10 <sup>2</sup> Mcal
	従来型クリンカクーラ	n.a. クリンカ 1 t	加熱原料 1 t 石灰石 0.35 10 <sup>2</sup> Mcal
	高効率クリンカクーラ	455 クリンカ 1 t	加熱原料 1 t 石灰石 0 10 <sup>2</sup> Mcal
	流動床焼成炉	(4140) クリンカ 1 t 廃熱 0.437 10 <sup>2</sup> Mcal	粉砕原料 1 石灰石 5.53 10 <sup>2</sup> Mcal 電力 0.257 10 <sup>2</sup> Mcal
	輸出用クリンカ	— 輸出用クリンカ 1 t	クリンカ 1 t
	ポルトランドセメント調成	— ポルトランドセメント材料 1 t	クリンカ 0.95 t 高炉スラグ 0.05 t
	高炉セメント調成	— 高炉セメント材料 1 t	クリンカ 0.55 t 高炉スラグ 0.45 t
調成工程	フライアッシュセメント調成	— フライアッシュセメント材料 1 t	クリンカ 0.85 t フライアッシュ 0.15 t
	フロー制御端	— セメント材料 1 t	ポルトランド 1 t
		— セメント材料 1 t	高炉セメント 1 t
		— セメント材料 1 t	フライアッシュ 1 t
	予備粉砕なし	0 粉砕材料 1 t	セメント材料 1 t
	予備粉砕機	833 粉砕材料 1 t	電力 0.069 10 <sup>2</sup> Mcal セメント材料 1 t 電力 0 10 <sup>2</sup> Mcal
粉砕工程	ボールミル	2875 セメント 1 t	粉砕材料 1 t 電力 0.354 10 <sup>2</sup> Mcal
	堅型ミル	2917 セメント 1 t	粉砕材料 1 t 電力 0.259 10 <sup>2</sup> Mcal
電力	フロー制御端	— 電力 1 10 <sup>2</sup> Mcal	購入電力 1 10 <sup>2</sup> Mcal
		— 電力 1 10 <sup>2</sup> Mcal	自家発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal
	従来型自家発電	1615 自家発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	Utility 3.23 10 <sup>2</sup> Mcal
	リバワリング	1723 自家発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	Utility 2.56 10 <sup>2</sup> Mcal
	コンバインドサイクル発電	2019 自家発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	都市ガス 2.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	太陽光発電	自家発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	太陽光 2.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	廃熱発電	8640 自家発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	廃熱 2.62 10 <sup>2</sup> Mcal
その他工程	セメントその他	(セメント) 1	電力 0.063 10 <sup>2</sup> Mcal
廃熱発電	フロー制御端	— 自家発電(廃熱) 0 10 <sup>2</sup> Mcal	廃熱 2.62 10 <sup>2</sup> Mcal
		— 自家発電(廃熱) 1 10 <sup>2</sup> Mcal	廃熱 2.62 10 <sup>2</sup> Mcal
Utility	フロー制御端	— Utility 1 10 <sup>2</sup> Mcal	石灰石 1 10 <sup>2</sup> Mcal
		— Utility 1 10 <sup>2</sup> Mcal	石油製品 1 10 <sup>2</sup> Mcal
		— Utility 1 10 <sup>2</sup> Mcal	都市ガス 1 10 <sup>2</sup> Mcal

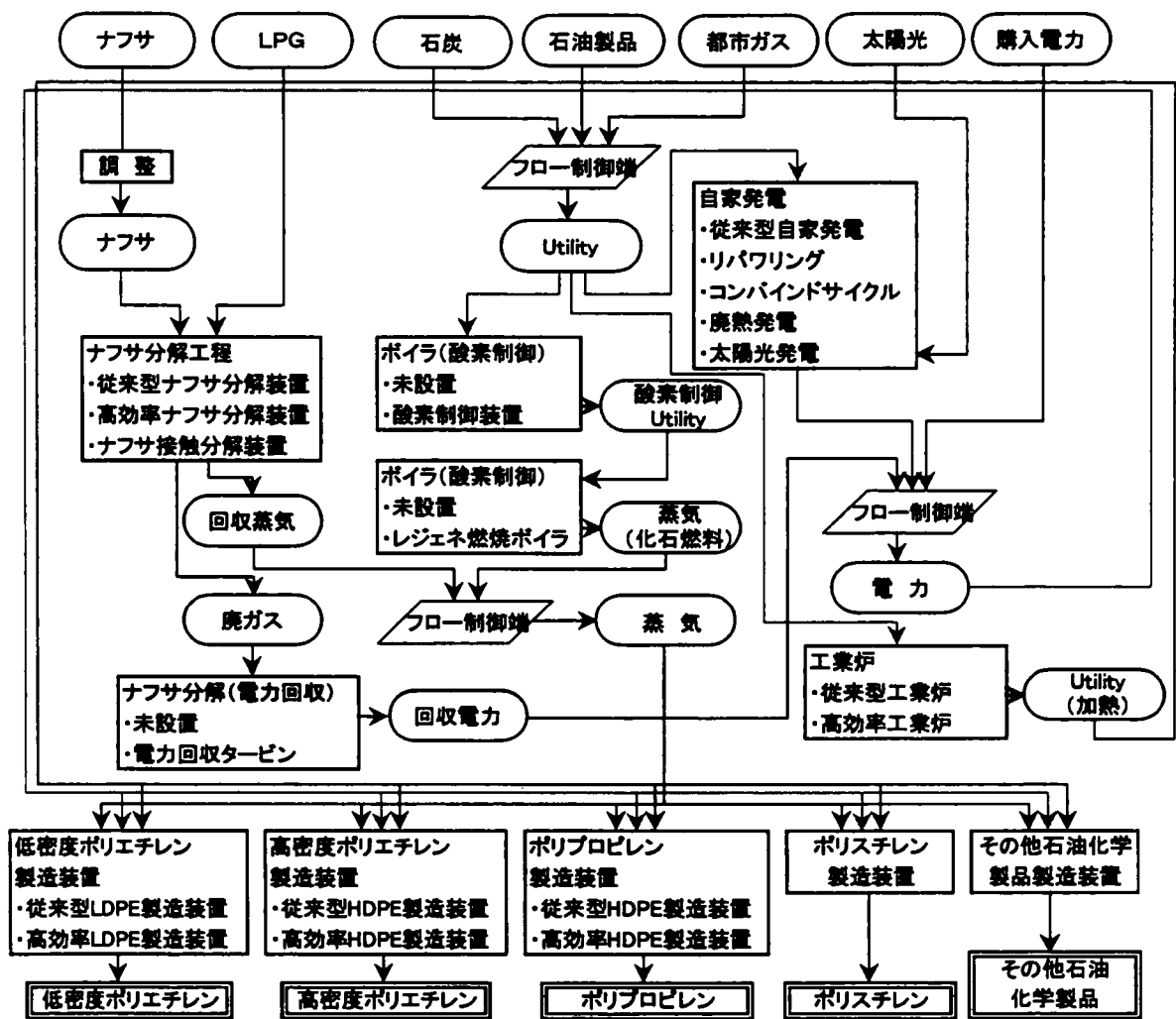
## 1.3 石油化学工業

### 1.3.1 石油化学工業のモデル化

石油化学工業は、石油や天然ガスを出発原料として、様々な生産工程を経て、合成樹脂、合成繊維原料、合成ゴムなど多種多様な化学製品を製造する産業である。石油化学工業に使用する原料は、その国の資源事情などによって異なるが、日本やヨーロッパでは原油を精製して得られる石油製品のうち「ナフサ（粗製ガソリン）」を主原料としている。それに対して、米国、カナダ、中東産油国では天然ガスや原油採取時の随伴ガスに含まれているエタンを主原料として使用している。

ナフサ分解工程では、原料用に投入されたナフサや LPG が分解・精製され、エチレン、プロピレン、B-B 留分等の基礎石油化学製品が生産される。また、改質精製油や分解油などからベンゼン、トルエン等の芳香族が生産される。さらにエチレンやプロピレン等から低密度ポリエチレン、高密度ポリエチレン、塩化ビニルモノマー、エチレンオキサイド、ポリプロピレン等が生産される。

本分析では、これらの生産工程を図附録 I -3 のようにモデル化した。生産量の多いエチレン、低密度ポリエチレン(LDPE)、高密度ポリエチレン(HDPE)、ポリプロピレン(PP)、ポリスチレン(PS)を最終エネルギーサービスとし、また、生産量の少ない製品は「その他の石油化学製品」として一括し、エチレン生産量をその最終エネルギーサービス量とした。低密度ポリエチレンや高密度ポリエチレンなどはエチレンから製造され、また、ポリプロピレンなどはプロピレンから製造されるため、エチレン生産量やプロピレン生産量、さらには原料ナフサ投入量は、下流側の低密度ポリエチレンやポリプロピレン生産量によって決定されるはずである。しかし、これらのフローを忠実にモデル化するのは困難であり、また、将来の最終製品構成を予想するのも困難であるため、現段階では、エチレンまでの工程とそれ以降を分解してモデル化を行っている。



図附録 I -3 石油化学工業のエネルギーサービスシステム

### 1.3.2 石油化学工業のエネルギーサービス技術

石油化学工業における技術選択は、表附録 I -6に示すエネルギーサービス技術を対象としている。表中における”産出”の列は、各エネルギーサービス技術が産出するエネルギー、財、サービスの量を示している。また、”投入”の列は、”産出”の列に示されている量のサービス等を産み出すために必要なエネルギー、財、サービスの量を示している。”技術価格”は、”産出”の列に示されている量のサービス等を産み出すために必要な規模の技術（装置・設備）の価格を示している。この価格には、生産に必要なエネルギー等を購入するための価格は含まれていない。

なお、表附録 I -6において、ナフサ分解工程～その他石油化学製品製造工程ではエチレンやポリエチレン等の石油化学製品を1トン製造するために必要となる技術の価格や投入・産出されるエネルギー量等を示している。加熱工程～Utility では、 $10^2$ Mcal のエネルギーを生産するために必要となる技術の価格や投入・産出されるエネルギー量等を示している。

表附録 I-6 石油化学工業のエネルギーサービス技術

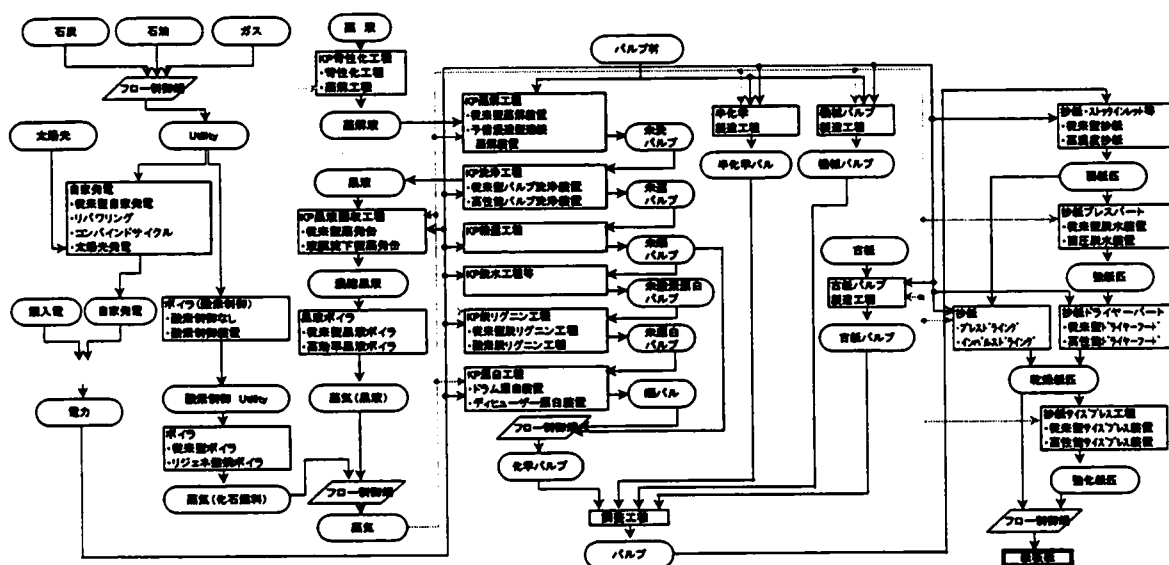
工程	技術名	技術情報(単位)	技術情報(単位)	技術情報(単位)
ナフサ分解工程	ナフサ分解反応装置	n.a.	エチレン 1 t 副生ガス 95.5 10 <sup>2</sup> Mcal 回収蒸気 4.66 10 <sup>2</sup> Mcal 廃ガス 5.0 10 <sup>2</sup> Mcal	ナフサ 439.0 10 <sup>2</sup> Mcal LPG 37.5 10 <sup>2</sup> Mcal 電力 0.168 10 <sup>2</sup> Mcal Utility 71.6 10 <sup>2</sup> Mcal
	高性能ナフサ分解反応装置	18333	エチレン 1 t 副生ガス 95.5 10 <sup>2</sup> Mcal 回収蒸気 4.66 10 <sup>2</sup> Mcal 廃ガス 5.0 10 <sup>2</sup> Mcal	ナフサ 439.0 10 <sup>2</sup> Mcal LPG 37.5 10 <sup>2</sup> Mcal 電力 0.168 10 <sup>2</sup> Mcal Utility 56.6 10 <sup>2</sup> Mcal
	ナフサ接触分解	120000	エチレン 1 t 副生ガス 95.5 10 <sup>2</sup> Mcal 回収蒸気 4.66 10 <sup>2</sup> Mcal 廃ガス 5.0 10 <sup>2</sup> Mcal	ナフサ 439.0 10 <sup>2</sup> Mcal LPG 37.5 10 <sup>2</sup> Mcal 電力 0.106 10 <sup>2</sup> Mcal Utility 40.4 10 <sup>2</sup> Mcal
	エチレンプラント電力回収タービンなし		回収電力 0 10 <sup>2</sup> Mcal	廃ガス 5.0 10 <sup>2</sup> Mcal
	エチレンプラント電力回収タービン	7407	回収電力 1.9 10 <sup>2</sup> Mcal	廃ガス 5.0 10 <sup>2</sup> Mcal
低密度ポリエチレン製造装置	従来型LDPE製造装置	n.a.	LDPE 1 t	電力 10.47 10 <sup>2</sup> Mcal 蒸気 3.38 10 <sup>2</sup> Mcal Utility(加熱) 0.47 10 <sup>2</sup> Mcal
	高性能LDPE製造装置	40000	LDPE 1 t	電力 6.60 10 <sup>2</sup> Mcal 蒸気 2.13 10 <sup>2</sup> Mcal Utility(加熱) 0.30 10 <sup>2</sup> Mcal
ポリプロピレン製造装置	従来型PP製造装置	n.a.	PP 1 t	電力 5.21 10 <sup>2</sup> Mcal 蒸気 10.79 10 <sup>2</sup> Mcal Utility(加熱) 0.13 10 <sup>2</sup> Mcal
	気相法ポリプロピレン製造装置	55000	PP 1 t	電力 1.72 10 <sup>2</sup> Mcal 蒸気 3.56 10 <sup>2</sup> Mcal Utility(加熱) 0.04 10 <sup>2</sup> Mcal
高密度ポリエチレン製造装置	HDPE製造装置	n.a.	HDPE 1 t	電力 4.77 10 <sup>2</sup> Mcal 蒸気 4.77 10 <sup>2</sup> Mcal Utility(加熱) 0.04 10 <sup>2</sup> Mcal
ポリスチレン製造装置	PS製造装置	n.a.	PS 1 t	電力 1.90 10 <sup>2</sup> Mcal 蒸気 1.69 10 <sup>2</sup> Mcal Utility(加熱) 1.01 10 <sup>2</sup> Mcal
その他石油化学製品製造装置	その他石油化学製品製造装置	n.a.	(エチレン) 1 t	電力 10.47 10 <sup>2</sup> Mcal 蒸気 39.62 10 <sup>2</sup> Mcal Utility(加熱) 45.07 10 <sup>2</sup> Mcal
加熱工程	従来型工業炉	n.a.	Utility(加熱) 1 10 <sup>2</sup> Mcal	Utility 1 10 <sup>2</sup> Mcal
	高効率工業炉	n.a.	Utility(加熱) 1 10 <sup>2</sup> Mcal	Utility 0.65 10 <sup>2</sup> Mcal
ボイラ(酸素制御)	酸素制御なし	0	酸素制御Utility 1.18 10 <sup>2</sup> Mcal	Utility 1.18 10 <sup>2</sup> Mcal
	酸素制御装置	104	酸素制御Utility 1.18 10 <sup>2</sup> Mcal	Utility 1.14 10 <sup>2</sup> Mcal
ボイラ	従来型ボイラ	1036	蒸気(化石燃料) 1 10 <sup>2</sup> Mcal	酸素制御Utility 1.18 10 <sup>2</sup> Mcal
	リジェネ燃焼ボイラ	1243	蒸気(化石燃料) 1 10 <sup>2</sup> Mcal	酸素制御Utility 1.11 10 <sup>2</sup> Mcal
蒸気	蒸気(化石燃料)	0	蒸気 1 10 <sup>2</sup> Mcal	蒸気(化石燃料) 1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	回収蒸気	0	蒸気 1 10 <sup>2</sup> Mcal	回収蒸気 1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
電力	購入電力	0	電力 1 10 <sup>2</sup> Mcal	購入電力 1 10 <sup>2</sup> Mcal
	自家発電	0	電力 1 10 <sup>2</sup> Mcal	自家発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal
	回収電力	0	電力 1 10 <sup>2</sup> Mcal	回収電力 1 10 <sup>2</sup> Mcal
自家発電	従来型自家発電	1615	自家発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	蒸気 3.23 10 <sup>2</sup> Mcal
	従来型自家発電+リパワリンク	1723	自家発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	Utility 2.56 10 <sup>2</sup> Mcal
	コンバインドサイクル発電	2019	自家発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	Utility 2.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	太陽光発電		自家発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	太陽光 2.62 10 <sup>2</sup> Mcal
Utility	石炭	0	Utility(加熱) 1 10 <sup>2</sup> Mcal	石炭 1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	石油	0	Utility(加熱) 1 10 <sup>2</sup> Mcal	石油 1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	ガス	0	Utility(加熱) 1 10 <sup>2</sup> Mcal	ガス 1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	副生ガス	0	Utility(加熱) 1 10 <sup>2</sup> Mcal	副生ガス 1.00 10 <sup>2</sup> Mcal

## 1.4 紙パルプ工業

### 1.4.1 紙パルプ工業のモデル化

紙パルプ生産部門の製造工程は、木材から繊維を抽出するパルプ製造工程と、調成されたパルプから紙層を形成し、脱水・乾燥する抄紙工程に分けられる。パルプ製造工程には、主に1) 単に木材を擦り潰してつくる機械パルプ、2) 薬品処理によって木材中のリグニンを溶出除去して繊維を取り出す化学パルプ、3) 古紙からつくる古紙パルプに分類できる。化学パルプ製造工程では、繊維を取り出した後の廃液（黒液）から薬品を分離し、かつ水分を除去した残りかすを燃料として再利用している。

本分析では、紙パルプ工業の生産工程を図附録 I-4 のようにモデル化した。紙パルプ工業では、古紙パルプの促進が省エネの鍵となる。本モデルにおいては、パルプ生産量に占める古紙パルプの生産量シェアを増大させることで、古紙パルプ促進による省エネ効果を考えることが可能となる。



図附録 I-4 紙パルプ工業のエネルギーサービスシステム



## 1.4.2 紙パルプ工業のエネルギーサービス技術

紙パルプ工業における技術選択は、表附録 I-7～表附録 I-8に示すエネルギーサービス技術を対象としている。表中における“産出”の列は、各エネルギーサービス技術が産出するエネルギー、財、サービスの量を示している。また、“投入”の列は、“産出”の列に示されている量のサービス等を産み出すために必要なエネルギー、財、サービスの量を示している。“技術価格”は、“産出”の列に示されている量のサービス等を産み出すために必要な規模の技術（装置・設備）の価格を示している。この価格には、生産に必要となるエネルギー等を購入するための価格は含まれていない。

なお、表附録 I-7～表附録 I-8において、パルプ製造工程～抄紙工程では、パルプや紙板紙を1トン製造するために必要となる技術の価格や投入・産出されるエネルギー量等を示している。電力～Utilityでは、 $10^2\text{Mcal}$ のエネルギーを生産するために必要となる技術の価格や投入・産出されるエネルギー量等を示している。

表附録 I-7 紙パルプ工業のエネルギーサービス技術(1)

工程	技術名	技術価格	産出	投入
機械パルプ製造工程	機械パルブ	—	機械パルブ 1 t	パルブ材 2.19 m <sup>3</sup> 蒸気 0.62 $10^2\text{Mcal}$ 電力 14.46 $10^2\text{Mcal}$
古紙パルプ製造工程	古紙パルブ	—	古紙パルブ 1 t	古紙 1.05 t 蒸気 0.75 $10^2\text{Mcal}$ 電力 2.39 $10^2\text{Mcal}$
半化学製造工程	半化学パルブ	—	半化学パルブ 1 t	パルブ材 2.83 m <sup>3</sup> 蒸気 13.35 $10^2\text{Mcal}$ 電力 6.75 $10^2\text{Mcal}$
化学パルプ製造工程	苛性化工程	苛性化工程	—	蒸解薬液 1 t
		直接苛性化	—	蒸解薬液 1 t
	蒸解工程	従来型蒸解装置	15238	未洗パルブ 1 t
				パルブ材 3.64 m <sup>3</sup> 蒸解液 1 t 蒸気 8.56 $10^2\text{Mcal}$
		予備浸透型連続蒸解装置	18286	未洗パルブ 1 t
				パルブ材 3.64 m <sup>3</sup> 蒸解液 1 t 蒸気 4.54 $10^2\text{Mcal}$
	洗浄工程	従来型パルブ洗浄装置	2619	未選パルブ 1 t
		高性能パルブ洗浄装置	3143	黒液 1
				未選パルブ 1 t
	精選工程	—	—	未選パルブ 1 t
				電力 1.16 $10^2\text{Mcal}$
	黒液回収工程	従来型蒸発缶	4464	濃縮黒液 63.9 $10^2\text{Mcal}$
				黒液 1 蒸気 11.0 $10^2\text{Mcal}$ 電力 0.74 $10^2\text{Mcal}$
		液膜流下型蒸発缶	5357	濃縮黒液 63.9 $10^2\text{Mcal}$
脱水工程等				黒液 1 t 蒸気 9.19 $10^2\text{Mcal}$ 電力 0.74 $10^2\text{Mcal}$
				未酸素漂白パル 1 t
				未選パルブ 1 t 電力 0.52 $10^2\text{Mcal}$

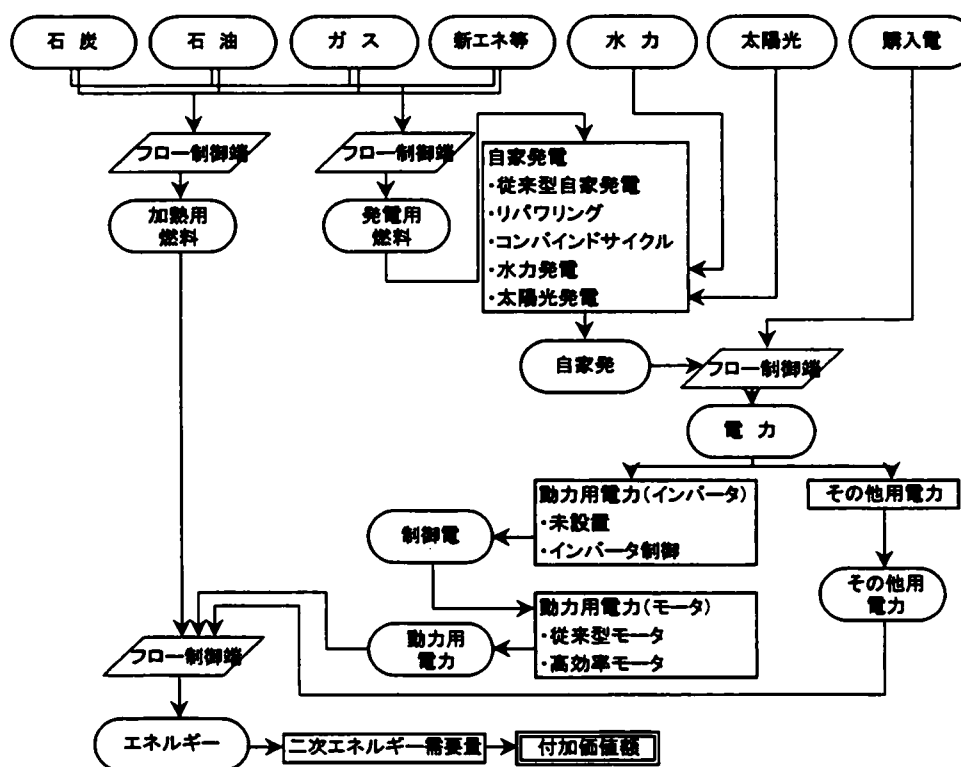
表附録 I-8 紙パルプ工業のエネルギーサービス技術(2)

工程	技術名	技術価格(円)	産出	投入
化学パルプ製造工程	脱リグニン工程	従来型脱リグニン装置	3472 未漂白パルプ 1 t	未酸素漂白パルプ 1 t 電力 0.30 10 <sup>2</sup> Mcal 石油 0.16 10 <sup>2</sup> Mcal
		酸素脱リグニン装置	4167 未漂白パルプ 1 t	未酸素漂白パルプ 1 t 電力 0.22 10 <sup>2</sup> Mcal 石油 0.13 10 <sup>2</sup> Mcal
	漂白工程	ドラム漂白装置	17593 晒パルプ 1 t	未漂白パルプ 1 t 電力 0.52 10 <sup>2</sup> Mcal 蒸気 1.92 10 <sup>2</sup> Mcal
		ディフューザー漂白装置	21111 晒パルプ 1 t	未漂白パルプ 1 t 電力 0.34 10 <sup>2</sup> Mcal 蒸気 0 10 <sup>2</sup> Mcal
	(フロー制御端)		化学パルプ 1 t	晒パルプ 1 t
			化学パルプ 1 t	未晒パルプ 1 t
調成工程	調成工程	機械パルプ	— パルプ 1 t	機械パルプ 1 t
		古紙パルプ	— パルプ 1 t	古紙パルプ 1 t
		半化学パルプ	— パルプ 1 t	半化学パルプ 1 t
		化学(クラフト)パルプ	— パルプ 1 t	化学パルプ 1 t
抄紙工程	ストックインレット・ワイヤーパート	従来型抄紙	— 弱紙匹 1 t	パルプ 1 t 電力 4.18 10 <sup>2</sup> Mcal
		高濃度抄紙	— 弱紙匹 1 t	パルプ 1 t 電力 2.87 10 <sup>2</sup> Mcal
	プレスパート	従来型脱水装置	2439 強紙匹 1 t	弱紙匹 1 蒸気 14.8 10 <sup>2</sup> Mcal
		面圧脱水装置	2927 強紙匹 1 t	弱紙匹 1 t 蒸気 9.68 10 <sup>2</sup> Mcal
	ドライヤーパート	従来型ドライヤーパート	1543 乾燥紙匹 1 t	強紙匹 1 t 電力 0.78 10 <sup>2</sup> Mcal
		高性能ドライヤーパート	1852 乾燥紙匹 1 t	強紙匹 1 t 電力 0.46 10 <sup>2</sup> Mcal
	プレスドライイング・インパルスドライイング		— 乾燥紙匹 1 t	弱紙匹 1 t 電力 0.46 10 <sup>2</sup> Mcal 蒸気 5.68 10 <sup>2</sup> Mcal
	サイズプレス	従来型サイズプレス装置	4630 強化紙匹 1 t	乾燥紙匹 1 t 蒸気 6.24 10 <sup>2</sup> Mcal
		高性能サイズプレス装置	5556 強化紙匹 1 t	乾燥紙匹 1 t 蒸気 0.91 10 <sup>2</sup> Mcal
	(フロー制御端)		— 紙板紙 1 t	乾燥紙匹 0.47 t 強化紙匹 0.53 t
電力	(フロー制御端)	購入電力	— 電力 1 10 <sup>2</sup> Mcal	購入電力 1 10 <sup>2</sup> Mcal
		自家発電	— 電力 1 10 <sup>2</sup> Mcal	自家発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal
	自家発電	従来型自家発電	1615 自家発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	蒸気 3.23 10 <sup>2</sup> Mcal
		リパワリング	1723 自家発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	Utility 2.56 10 <sup>2</sup> Mcal
		コンバインドサイクル	2019 自家発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	Utility 2.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		太陽光発電	— 自家発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	太陽光 2.62 10 <sup>2</sup> Mcal
ボイラ	ボイラ (酸素制御)	酸素制御なし	0 酸素制御Utility 1.18 10 <sup>2</sup> Mcal	Utility 1.18 10 <sup>2</sup> Mcal
		酸素制御装置	104 酸素制御Utility 1.18 10 <sup>2</sup> Mcal	Utility 1.14 10 <sup>2</sup> Mcal
	ボイラ	従来型ボイラ	1036 蒸気(化石燃料) 1 10 <sup>2</sup> Mcal	酸素制御Utility 1.18 10 <sup>2</sup> Mcal
		リジェネ燃焼ボイラ	1243 蒸気(化石燃料) 1 10 <sup>2</sup> Mcal	酸素制御Utility 1.11 10 <sup>2</sup> Mcal
	黒液ボイラ	従来型黒液ボイラ	— 蒸気(黒液) 0.5 10 <sup>2</sup> Mcal	濃縮黒液 1 10 <sup>2</sup> Mcal
		高効率黒液ボイラ	— 蒸気(黒液) 0.7 10 <sup>2</sup> Mcal	濃縮黒液 1 10 <sup>2</sup> Mcal
	(フロー制御端)	蒸気(化石燃料)	— 蒸気 1 10 <sup>2</sup> Mcal	蒸気(化石燃料) 1 10 <sup>2</sup> Mcal
		蒸気(黒液)	— 蒸気 1 10 <sup>2</sup> Mcal	蒸気(黒液) 1 10 <sup>2</sup> Mcal
Utility	(フロー制御端)	石炭	— Utility (fossil) 1 10 <sup>2</sup> Mcal	石炭 1 10 <sup>2</sup> Mcal
		石油	— Utility (fossil) 1 10 <sup>2</sup> Mcal	石油 1 10 <sup>2</sup> Mcal
		ガス	— Utility (fossil) 1 10 <sup>2</sup> Mcal	ガス 1 10 <sup>2</sup> Mcal

## 1.5 その他産業

### 1.5.1 その他産業のモデル化

エネルギー多消費産業以外の産業部門（農林水産業，鉱業，建設業，食料品業，繊維業，セメント以外の窯業土石，石油化学以外の化学工業，非鉄金属，金属機械，その他製造業）については，最終製品が多品種に及び，各産業について個々の技術情報を採取しモデル分析を行うことは，現実的に不可能である。しかし，高効率工業炉，コンバインドサイクル発電，モータのインバータ制御，高効率モータ，ボイラー空気比低減，太陽光発電など業種横断対策によって，二酸化炭素排出の削減が期待される。そこで，エネルギー多消費産業以外の産業部門については，業種横断的対策技術を考慮し，簡易なエネルギーサービスシステムを想定した。本モデルでは，その他産業に関して，各業種毎にシナリオを与え，分析を行っているが，エネルギーサービスシステムは業種によって差異がほとんどないため，図附録 I -5にはその他産業の典型的なエネルギーサービスシステムを示す。



図附録 I -5 その他産業のエネルギーサービスシステム

## 1.5.2 その他産業のエネルギーサービス技術

その他産業における技術選択は、表附録 I -9～表附録 I -13に示すエネルギーサービス技術を対象としている。表中における“産出”の列は、各エネルギーサービス技術が産出するエネルギー、財、サービスの量を示している。また、“投入”の列は、“産出”の列に示されている量のサービス等を産み出すために必要なエネルギー、財、サービスの量を示している。“技術価格”は、“産出”の列に示されている量のサービス等を産み出すために必要な規模の技術（装置・設備）の価格を示している。この価格には、生産に必要となるエネルギー等を購入するための価格は含まれていない。

なお、表附録 I -9～表附録 I -13では、 $10^2\text{Mcal}$  のエネルギーを生産するために必要となる技術の価格や投入・産出されるエネルギー量等を示している。

表附録 I -9 その他産業のエネルギーサービス技術(1)

技術名	技術価格(円)	産出	投入
農林水産業	二次エネルギー需要量	—	付加価値 1.00 百万円 エネルギー 109.1 $10^2\text{Mcal}$
熱・電力	熱	—	エネルギー 1.00 $10^2\text{Mcal}$ 加熱用燃料 1.00 $10^2\text{Mcal}$
	動力用(電力)	—	エネルギー 1.00 $10^2\text{Mcal}$ 動力用(電力) 1.00 $10^2\text{Mcal}$
	その他用(電力)	—	エネルギー 1.00 $10^2\text{Mcal}$ その他用(電力) 1.00 $10^2\text{Mcal}$
動力用(電力)	インバータ制御未設置	0	制御電力 1.00 $10^2\text{Mcal}$ 電力 1.00 $10^2\text{Mcal}$
	インバータ制御	1846	制御電力 1.00 $10^2\text{Mcal}$ 電力 0.85 $10^2\text{Mcal}$
	従来型モータ	1851	動力用(電力) 1.00 $10^2\text{Mcal}$ 制御電力 1.00 $10^2\text{Mcal}$
	高効率モータ	2229	動力用(電力) 1.00 $10^2\text{Mcal}$ 制御電力 0.97 $10^2\text{Mcal}$
その他用(電力)	その他用(電力)	—	その他用(電力) 1.00 $10^2\text{Mcal}$ 電力 1.00 $10^2\text{Mcal}$
電力	自家発電	—	電力 1.00 $10^2\text{Mcal}$ 自家発電 1.00 $10^2\text{Mcal}$
	購入電力	—	電力 1.00 $10^2\text{Mcal}$ 購入電力 1.00 $10^2\text{Mcal}$
自家発電	従来型自家発電	1615	自家発電 1 $10^2\text{Mcal}$ 発電用燃料 3.23 $10^2\text{Mcal}$
	従来型自家発電+リバウリング	1723	自家発電 1 $10^2\text{Mcal}$ 発電用燃料 2.56 $10^2\text{Mcal}$
	コンバインドサイクル発電	2019	自家発電 1 $10^2\text{Mcal}$ 発電用燃料 2.00 $10^2\text{Mcal}$
	水力発電	n.a.	自家発電 1 $10^2\text{Mcal}$ 水力 2.82 $10^2\text{Mcal}$
	太陽光発電	92180	自家発電 1 $10^2\text{Mcal}$ 太陽光 2.82 $10^2\text{Mcal}$
加熱用燃料	石炭	—	加熱用燃料 1 $10^2\text{Mcal}$ 石炭 1 $10^2\text{Mcal}$
	石油	—	加熱用燃料 1 $10^2\text{Mcal}$ 石油 1 $10^2\text{Mcal}$
	ガス	—	加熱用燃料 1 $10^2\text{Mcal}$ ガス 1 $10^2\text{Mcal}$
	新エネ等	—	加熱用燃料 1 $10^2\text{Mcal}$ 新エネ等 1 $10^2\text{Mcal}$
発電用燃料	石炭	—	発電用燃料 1 $10^2\text{Mcal}$ 石炭 1 $10^2\text{Mcal}$
	石油	—	発電用燃料 1 $10^2\text{Mcal}$ 石油 1 $10^2\text{Mcal}$
	ガス	—	発電用燃料 1 $10^2\text{Mcal}$ ガス 1 $10^2\text{Mcal}$
	新エネ等	—	発電用燃料 1 $10^2\text{Mcal}$ 新エネ等 1 $10^2\text{Mcal}$

表附録 I-10 その他産業のエネルギーサービス技術(2)

産業	技術名	技術価格(円)	技術価値	エネルギー	エネルギー
鉱業	二次エネルギー需要量	エネルギー需要量/負荷価値	—	付加価値	1.00 百万円
	熱・電力	ボイラ用	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		直接加熱	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		動力用(熱)	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		その他(熱)	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		動力用(電力)	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		その他用(電力)	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	酸素制御	酸素制御装置未設置	0	制御後燃料	1.18 10 <sup>2</sup> Mcal
		酸素制御装置	104	制御後燃料	1.11 10 <sup>2</sup> Mcal
	ボイラ	従来型ボイラ	1036	蒸気	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		レジェンボイラ	1243	蒸気	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	工業炉	従来型工業炉	0	加熱用燃料	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		高効率工業炉	0	加熱用燃料	0.85 10 <sup>2</sup> Mcal
	動力用(熱)	動力用(熱)	—	動力用(熱)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	その他用(熱)	その他用(熱)	—	その他用(熱)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	動力用(電力)	インバータ制御未設置	0	制御電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		インバータ制御	1846	制御電力	0.85 10 <sup>2</sup> Mcal
		従来型モータ	1651	動力用(電力)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		高効率モータ	2229	動力用(電力)	0.97 10 <sup>2</sup> Mcal
	その他用(電力)	その他用(電力)	—	その他用(電力)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	電力	自家発電	—	電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		購入電力	—	電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	自家発電	従来型自家発電	1615	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		従来型自家発電+リパワリング	1723	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		コンバインドサイクル発電	2019	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		水力発電	n.a.	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		太陽光発電	92180	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal
	加熱用燃料	石炭	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		石油	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		ガス	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		新エネ等	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal
	発電用燃料	石炭	—	発電用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		石油	—	発電用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		ガス	—	発電用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		新エネ等	—	発電用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal
建設業	二次エネルギー需要量	エネルギー需要量/負荷価値	—	付加価値	1.00 百万円
	熱・電力	熱	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		動力用(電力)	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		その他用(電力)	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	動力用(電力)	インバータ制御未設置	0	制御電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		インバータ制御	1846	制御電力	0.85 10 <sup>2</sup> Mcal
		従来型モータ	1651	動力用(電力)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		高効率モータ	2229	動力用(電力)	0.97 10 <sup>2</sup> Mcal
	その他用(電力)	その他用(電力)	—	その他用(電力)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	電力	自家発電	—	電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		購入電力	—	電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	自家発電	従来型自家発電	1615	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		従来型自家発電+リパワリング	1723	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		コンバインドサイクル発電	2019	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		水力発電	n.a.	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		太陽光発電	92180	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal
	加熱用燃料	石炭	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		石油	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		ガス	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		新エネ等	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal
	発電用燃料	石炭	—	発電用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		石油	—	発電用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		ガス	—	発電用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		新エネ等	—	発電用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal

表附録 I-11 その他産業のエネルギーサービス技術(3)

食料品	二次エネルギー需要量	エネルギー需要量/負荷係数	技術価値円	付加価値	1.00 百万円	エネルギー	59.9 10 <sup>2</sup> Mcal
食料品	熱・電力	ボイラ用	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	蒸気	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		直接加熱	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用熱	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		動力用(熱)	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	動力用(熱)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		その他(熱)	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	その他用(熱)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		動力用(電力)	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	動力用(電力)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		その他用(電力)	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	その他用(電力)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		酸素制御	酸素制御装置未設置	0 制御後燃料	1.18 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用燃料	1.18 10 <sup>2</sup> Mcal
	ボイラ	酸素制御装置	104	制御後燃料	1.18 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用燃料	1.11 10 <sup>2</sup> Mcal
		従来型ボイラ	1036	蒸気	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	制御後燃料	1.18 10 <sup>2</sup> Mcal
	工業炉	レジェネボイラ	1243	蒸気	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	制御後燃料	1.11 10 <sup>2</sup> Mcal
		従来型工業炉	n.a.	加熱用熱	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用燃料	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	動力用(熱)	高効率工業炉	n.a.	加熱用熱	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用燃料	0.85 10 <sup>2</sup> Mcal
		動力用(熱)	—	動力用(熱)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用燃料	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	その他用(熱)	その他用(熱)	—	その他用(熱)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用燃料	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		動力用(電力)	インバータ制御未設置	0 制御電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	電力	インバータ制御	1646	制御電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	電力	0.85 10 <sup>2</sup> Mcal
		従来型モータ	1851	動力用(電力)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	制御電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	その他用(電力)	高効率モータ	2229	動力用(電力)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	制御電力	0.97 10 <sup>2</sup> Mcal
		その他用(電力)	—	その他用(電力)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	自家発電	自家発電	—	電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	自家発電	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		購入電力	—	電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	購入電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	自家発電	従来型自家発電	1615	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal	発電用燃料	3.23 10 <sup>2</sup> Mcal
		従来型自家発電+リバワリング	1723	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal	発電用燃料	2.56 10 <sup>2</sup> Mcal
		コンバインドサイクル発電	2019	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal	発電用燃料	2.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		水力発電	n.a.	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal	水力	2.62 10 <sup>2</sup> Mcal
		太陽光発電	92180	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal	太陽光	2.62 10 <sup>2</sup> Mcal
	加熱用燃料	石炭	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	石炭	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		石油	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	石油	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		ガス	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	ガス	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		新エネ等	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	新エネ等	1 10 <sup>2</sup> Mcal
	発電用燃料	石炭	—	発電用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	石炭	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		石油	—	発電用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	石油	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		ガス	—	発電用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	ガス	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		新エネ等	—	発電用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	新エネ等	1 10 <sup>2</sup> Mcal
産業土石 その他	二次エネルギー需要量	エネルギー需要量/負荷係数	—	付加価値	1.00 百万円	エネルギー	59.9 10 <sup>2</sup> Mcal
	熱・電力	ボイラ用	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	蒸気	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		直接加熱	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用熱	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		動力用(熱)	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	動力用(熱)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		その他(熱)	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	その他用(熱)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		動力用(電力)	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	動力用(電力)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		その他用(電力)	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	その他用(電力)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	酸素制御	酸素制御装置未設置	0	制御後燃料	1.18 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用燃料	1.18 10 <sup>2</sup> Mcal
		酸素制御装置	104	制御後燃料	1.18 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用燃料	1.11 10 <sup>2</sup> Mcal
	ボイラ	従来型ボイラ	1036	蒸気	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	制御後燃料	1.18 10 <sup>2</sup> Mcal
		レジェネボイラ	1243	蒸気	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	制御後燃料	1.11 10 <sup>2</sup> Mcal
	工業炉	従来型工業炉	n.a.	加熱用熱	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用燃料	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		高効率工業炉	n.a.	加熱用熱	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用燃料	0.85 10 <sup>2</sup> Mcal
	動力用(熱)	動力用(熱)	—	動力用(熱)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用燃料	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		その他用(熱)	—	その他用(熱)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用燃料	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	動力用(電力)	インバータ制御未設置	0	制御電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		インバータ制御	1646	制御電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	電力	0.85 10 <sup>2</sup> Mcal
	その他用(電力)	従来型モータ	1851	動力用(電力)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	制御電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		高効率モータ	2229	動力用(電力)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	制御電力	0.97 10 <sup>2</sup> Mcal
	電力	その他用(電力)	—	その他用(電力)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		自家発電	—	電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	自家発電	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	自家発電	購入電力	—	電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	購入電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		従来型自家発電	1615	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal	発電用燃料	3.23 10 <sup>2</sup> Mcal
	自家発電	従来型自家発電+リバワリング	1723	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal	発電用燃料	2.56 10 <sup>2</sup> Mcal
		コンバインドサイクル発電	2019	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal	発電用燃料	2.00 10 <sup>2</sup> Mcal
		水力発電	n.a.	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal	水力	2.62 10 <sup>2</sup> Mcal
		太陽光発電	92180	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal	太陽光	2.62 10 <sup>2</sup> Mcal
	加熱用燃料	石炭	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	石炭	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		石油	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	石油	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		ガス	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	ガス	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		新エネ等	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	新エネ等	1 10 <sup>2</sup> Mcal
	発電用燃料	石炭	—	発電用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	石炭	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		石油	—	発電用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	石油	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		ガス	—	発電用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	ガス	1 10 <sup>2</sup> Mcal
		新エネ等	—	発電用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	新エネ等	1 10 <sup>2</sup> Mcal



表附録 I-12 その他産業のエネルギーサービス技術(4)

技術名	技術価値(円)	産出	投入
化学工業 その他	二次エネルギー需要量 エネルギー需要量/負荷価値	—	付加価値 1.00 百万円 エネルギー 59.9 10 <sup>12</sup> Mcal
熱・電力	ボイラ用 — — — — — —	エネルギー 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal エネルギー 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal エネルギー 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal エネルギー 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal エネルギー 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal エネルギー 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal	蒸気 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 加熱用熱 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 動力用(熱) 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal その他用(熱) 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 動力用(電力) 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal その他用(電力) 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal
融素制御	融素制御装置未設置 融素制御装置 104	制御後燃料 1.18 10 <sup>12</sup> Mcal 制御後燃料 1.18 10 <sup>12</sup> Mcal	加熱用燃料 1.18 10 <sup>12</sup> Mcal 加熱用燃料 1.11 10 <sup>12</sup> Mcal
ボイラ	従来型ボイラ レジェンボイラ 1243	蒸気 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 蒸気 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal	制御後燃料 1.18 10 <sup>12</sup> Mcal 制御後燃料 1.11 10 <sup>12</sup> Mcal
工業炉	従来型工業炉 高効率工業炉 n.a.	加熱用熱 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 加熱用熱 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal	加熱用燃料 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 加熱用燃料 0.65 10 <sup>12</sup> Mcal
動力用(熱)	動力用(熱) — —	動力用(熱) 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 動力用(熱) 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal	加熱用燃料 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 加熱用燃料 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal
動力用(電力)	インバータ制御未設置 インバータ制御 1646 従来型モータ 1651 高効率モータ 2229	制御電力 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 制御電力 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 動力用(電力) 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 動力用(電力) 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal	電力 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 電力 0.65 10 <sup>12</sup> Mcal 制御電力 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 制御電力 0.97 10 <sup>12</sup> Mcal
その他用(電力)	その他用(電力) — —	その他用(電力) 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 電力 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal	電力 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 自家発電 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal
電力	自家発電 購入電力 — —	電力 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 電力 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal	自家発電 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 購入電力 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal
自家発電	従来型自家発電 1615 従来型自家発電+リパワリング 1723 コンバインドサイクル発電 2019 水力発電 n.a. 太陽光発電 92180	自家発電 1 10 <sup>12</sup> Mcal 自家発電 1 10 <sup>12</sup> Mcal 自家発電 1 10 <sup>12</sup> Mcal 自家発電 1 10 <sup>12</sup> Mcal 自家発電 1 10 <sup>12</sup> Mcal	発電用燃料 3.23 10 <sup>12</sup> Mcal 発電用燃料 2.56 10 <sup>12</sup> Mcal 発電用燃料 2.00 10 <sup>12</sup> Mcal 水力 2.82 10 <sup>12</sup> Mcal 太陽光 2.82 10 <sup>12</sup> Mcal
加熱用燃料	石炭 — — — —	加熱用燃料 1 10 <sup>12</sup> Mcal 加熱用燃料 1 10 <sup>12</sup> Mcal 加熱用燃料 1 10 <sup>12</sup> Mcal 加熱用燃料 1 10 <sup>12</sup> Mcal	石炭 1 10 <sup>12</sup> Mcal 石油 1 10 <sup>12</sup> Mcal ガス 1 10 <sup>12</sup> Mcal 新エネ等 1 10 <sup>12</sup> Mcal
発電用燃料	石炭 — — — —	発電用燃料 1 10 <sup>12</sup> Mcal 発電用燃料 1 10 <sup>12</sup> Mcal 発電用燃料 1 10 <sup>12</sup> Mcal 発電用燃料 1 10 <sup>12</sup> Mcal	石炭 1 10 <sup>12</sup> Mcal 石油 1 10 <sup>12</sup> Mcal ガス 1 10 <sup>12</sup> Mcal 新エネ等 1 10 <sup>12</sup> Mcal
非鉄金属	二次エネルギー需要量 エネルギー需要量/負荷価値	—	付加価値 1.00 百万円 エネルギー 59.9 10 <sup>12</sup> Mcal
熱・電力	ボイラ用 — — — — — —	エネルギー 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal エネルギー 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal エネルギー 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal エネルギー 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal エネルギー 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal エネルギー 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal	蒸気 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 加熱用熱 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 動力用(熱) 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal その他用(熱) 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 動力用(電力) 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal その他用(電力) 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal
融素制御	融素制御装置未設置 融素制御装置 104	制御後燃料 1.18 10 <sup>12</sup> Mcal 制御後燃料 1.18 10 <sup>12</sup> Mcal	加熱用燃料 1.18 10 <sup>12</sup> Mcal 加熱用燃料 1.11 10 <sup>12</sup> Mcal
ボイラ	従来型ボイラ レジェンボイラ 1243	蒸気 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 蒸気 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal	制御後燃料 1.18 10 <sup>12</sup> Mcal 制御後燃料 1.11 10 <sup>12</sup> Mcal
工業炉	従来型工業炉 高効率工業炉 n.a.	加熱用熱 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 加熱用熱 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal	加熱用燃料 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 加熱用燃料 0.65 10 <sup>12</sup> Mcal
動力用(熱)	動力用(熱) — —	動力用(熱) 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 動力用(熱) 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal	加熱用燃料 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 加熱用燃料 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal
動力用(電力)	インバータ制御未設置 インバータ制御 1646 従来型モータ 1651 高効率モータ 2229	制御電力 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 制御電力 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 動力用(電力) 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 動力用(電力) 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal	電力 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 電力 0.65 10 <sup>12</sup> Mcal 制御電力 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 制御電力 0.97 10 <sup>12</sup> Mcal
その他用(電力)	その他用(電力) — —	その他用(電力) 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 電力 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal	電力 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 自家発電 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal
電力	自家発電 購入電力 — —	電力 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 電力 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal	自家発電 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal 購入電力 1.00 10 <sup>12</sup> Mcal
自家発電	従来型自家発電 1615 従来型自家発電+リパワリング 1723 コンバインドサイクル発電 2019 水力発電 n.a. 太陽光発電 92180	自家発電 1 10 <sup>12</sup> Mcal 自家発電 1 10 <sup>12</sup> Mcal 自家発電 1 10 <sup>12</sup> Mcal 自家発電 1 10 <sup>12</sup> Mcal 自家発電 1 10 <sup>12</sup> Mcal	発電用燃料 3.23 10 <sup>12</sup> Mcal 発電用燃料 2.56 10 <sup>12</sup> Mcal 発電用燃料 2.00 10 <sup>12</sup> Mcal 水力 2.82 10 <sup>12</sup> Mcal 太陽光 2.82 10 <sup>12</sup> Mcal
加熱用燃料	石炭 — — — —	加熱用燃料 1 10 <sup>12</sup> Mcal 加熱用燃料 1 10 <sup>12</sup> Mcal 加熱用燃料 1 10 <sup>12</sup> Mcal 加熱用燃料 1 10 <sup>12</sup> Mcal	石炭 1 10 <sup>12</sup> Mcal 石油 1 10 <sup>12</sup> Mcal ガス 1 10 <sup>12</sup> Mcal 新エネ等 1 10 <sup>12</sup> Mcal
発電用燃料	石炭 — — — —	発電用燃料 1 10 <sup>12</sup> Mcal 発電用燃料 1 10 <sup>12</sup> Mcal 発電用燃料 1 10 <sup>12</sup> Mcal 発電用燃料 1 10 <sup>12</sup> Mcal	石炭 1 10 <sup>12</sup> Mcal 石油 1 10 <sup>12</sup> Mcal ガス 1 10 <sup>12</sup> Mcal 新エネ等 1 10 <sup>12</sup> Mcal

表附録 I-13 その他産業のエネルギーサービス技術(5)

技術名	技術価値(円)	支出	エネルギー	59.9 10 <sup>2</sup> Mcal			
金属機械	二次エネルギー需要量	エネルギー需要量/負荷価値係	—	付加価値	1.00 百万円	エネルギー	59.9 10 <sup>2</sup> Mcal
熱・電力	ボイラ用	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	蒸気	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
	直接加熱	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用熱	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
	動力用(熱)	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	動力用(熱)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
	その他(熱)	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	その他用(熱)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
	動力用(電力)	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	動力用(電力)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
	その他用(電力)	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	その他用(電力)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
酸素制御	酸素制御装置未設置	0	制御後燃料	1.18 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用燃料	1.18 10 <sup>2</sup> Mcal	
	酸素制御装置	104	制御後燃料	1.18 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用燃料	1.11 10 <sup>2</sup> Mcal	
ボイラ	従来型ボイラ	1036	蒸気	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	制御後燃料	1.18 10 <sup>2</sup> Mcal	
	レジェンボイラ	1243	蒸気	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	制御後燃料	1.11 10 <sup>2</sup> Mcal	
工業炉	従来型工業炉	n.a.	加熱用熱	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用燃料	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
	高効率工業炉	n.a.	加熱用熱	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用燃料	0.85 10 <sup>2</sup> Mcal	
動力用(熱)	動力用(熱)	—	動力用(熱)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用燃料	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
その他用(熱)	その他用(熱)	—	その他用(熱)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用燃料	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
動力用(電力)	インバータ制御未設置	0	制御電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
	インバータ制御	1646	制御電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	電力	0.85 10 <sup>2</sup> Mcal	
	従来型モータ	1651	動力用(電力)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	制御電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
	高効率モータ	2229	動力用(電力)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	制御電力	0.97 10 <sup>2</sup> Mcal	
その他用(電力)	その他用(電力)	—	その他用(電力)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
電力	自家発電	—	電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	自家発電	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
	購入電力	—	電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	購入電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
自家発電	従来型自家発電	1615	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal	発電用燃料	3.23 10 <sup>2</sup> Mcal	
	従来型自家発電+リバワリング	1723	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal	発電用燃料	2.56 10 <sup>2</sup> Mcal	
	コンバインドサイクル発電	2019	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal	発電用燃料	2.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
	水力発電	n.a.	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal	水力	2.62 10 <sup>2</sup> Mcal	
	太陽光発電	92180	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal	太陽光	2.62 10 <sup>2</sup> Mcal	
加熱用燃料	石炭	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	石炭	1 10 <sup>2</sup> Mcal	
	石油	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	石油	1 10 <sup>2</sup> Mcal	
	ガス	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	ガス	1 10 <sup>2</sup> Mcal	
	新エネ等	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	新エネ等	1 10 <sup>2</sup> Mcal	
発電用燃料	石炭	—	発電用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	石炭	1 10 <sup>2</sup> Mcal	
	石油	—	発電用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	石油	1 10 <sup>2</sup> Mcal	
	ガス	—	発電用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	ガス	1 10 <sup>2</sup> Mcal	
	新エネ等	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	新エネ等	1 10 <sup>2</sup> Mcal	
その他製造業	二次エネルギー需要量	エネルギー需要量/負荷価値係	—	付加価値	1.00 百万円	エネルギー	59.9 10 <sup>2</sup> Mcal
熱・電力	ボイラ用	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	蒸気	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
	直接加熱	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用熱	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
	動力用(熱)	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	動力用(熱)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
	その他(熱)	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	その他用(熱)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
	動力用(電力)	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	動力用(電力)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
	その他用(電力)	—	エネルギー	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	その他用(電力)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
酸素制御	酸素制御装置未設置	0	制御後燃料	1.18 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用燃料	1.18 10 <sup>2</sup> Mcal	
	酸素制御装置	104	制御後燃料	1.18 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用燃料	1.11 10 <sup>2</sup> Mcal	
ボイラ	従来型ボイラ	1036	蒸気	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	制御後燃料	1.18 10 <sup>2</sup> Mcal	
	レジェンボイラ	1243	蒸気	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	制御後燃料	1.11 10 <sup>2</sup> Mcal	
工業炉	従来型工業炉	n.a.	加熱用熱	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用燃料	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
	高効率工業炉	n.a.	加熱用熱	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用燃料	0.65 10 <sup>2</sup> Mcal	
動力用(熱)	動力用(熱)	—	動力用(熱)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用燃料	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
その他用(熱)	その他用(熱)	—	その他用(熱)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	加熱用燃料	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
動力用(電力)	インバータ制御未設置	0	制御電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
	インバータ制御	1646	制御電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	電力	0.65 10 <sup>2</sup> Mcal	
	従来型モータ	1651	動力用(電力)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	制御電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
	高効率モータ	2229	動力用(電力)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	制御電力	0.97 10 <sup>2</sup> Mcal	
その他用(電力)	その他用(電力)	—	その他用(電力)	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
電力	自家発電	—	電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	自家発電	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
	購入電力	—	電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	購入電力	1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
自家発電	従来型自家発電	1615	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal	発電用燃料	3.23 10 <sup>2</sup> Mcal	
	従来型自家発電+リバワリング	1723	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal	発電用燃料	2.56 10 <sup>2</sup> Mcal	
	コンバインドサイクル発電	2019	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal	発電用燃料	2.00 10 <sup>2</sup> Mcal	
	水力発電	n.a.	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal	水力	2.62 10 <sup>2</sup> Mcal	
	太陽光発電	92180	自家発電	1 10 <sup>2</sup> Mcal	太陽光	2.62 10 <sup>2</sup> Mcal	
加熱用燃料	石炭	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	石炭	1 10 <sup>2</sup> Mcal	
	石油	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	石油	1 10 <sup>2</sup> Mcal	
	ガス	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	ガス	1 10 <sup>2</sup> Mcal	
	新エネ等	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	新エネ等	1 10 <sup>2</sup> Mcal	
発電用燃料	石炭	—	発電用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	石炭	1 10 <sup>2</sup> Mcal	
	石油	—	発電用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	石油	1 10 <sup>2</sup> Mcal	
	ガス	—	発電用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	ガス	1 10 <sup>2</sup> Mcal	
	新エネ等	—	加熱用燃料	1 10 <sup>2</sup> Mcal	新エネ等	1 10 <sup>2</sup> Mcal	



## 2 家庭部門

### 2.1 家庭部門のモデル化

#### 2.1.1 サービス

サービスとは、エネルギー消費によって期待される効用のことで、家庭部門のサービス分野は国によって異なる可能性があるが、原則として多サービス分野を詳細に分類する必要がある。

通常、家庭部門のエネルギー消費用途は、冷房、暖房、給湯、厨房、その他動力の5つに分けられることが多い。しかし、近年及び将来に向けての我が国の状況を考えると、暖房、給湯、厨房等のサービスは既に飽和気味で単位世帯当たりのエネルギー消費量に大きな変化はないと考えられるのに対し、情報機器を含む家電製品によるサービス等は大幅に延びる可能性がある。そこで、その他動力の詳細な分析の実施をデータ利用可能性も含めて検討した結果、ここでは、家庭部門のサービスを基本的に、冷房、暖房、給湯・厨房、照明、冷蔵、テレビ、洗濯、掃除、レンジ、その他の10サービスに分割することとした（図附録I-6）。

サービスの単位はエネルギー消費の用途に応じて定義される。ここでは、冷房は冷房カロリー量、暖房は暖房カロリー量、給湯・厨房は給湯・厨房カロリー量、照明は明るさ、冷蔵、テレビ、洗濯、掃除、レンジは性能を補正した台数、その他は電力消費量をもとに算出した。なお、本分析においては、基準年の基準住宅を設定し、その住宅の一世帯に需要されているサービスを1と定義して、用途間の単位を統一した。

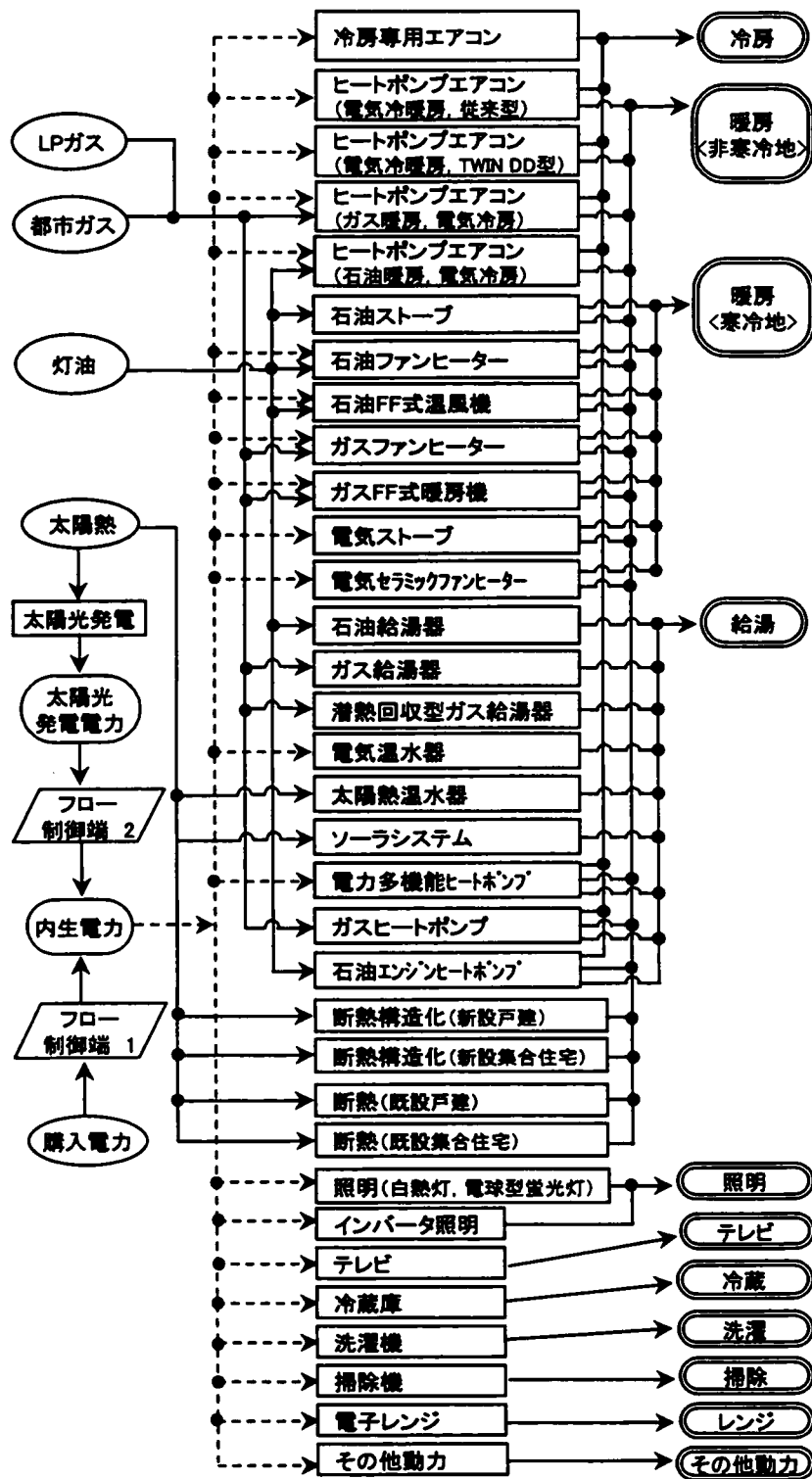
#### ・基準住宅

1985年度の1世帯の平均床面積は87.6 m<sup>2</sup>（推計）であり、1世帯当たり人員は約3.41人（推計）である。本モデルでの基準住宅は、3～4人が暮らせる2LDKで、都市居住型誘導居住水準（86.5 m<sup>2</sup>）に暮らすと想定した。

基準住宅は国土交通省の『第六期住宅建設五箇年計画』により、表附録I-14のような部屋を設けた。

表附録I-14 基準住宅の各部屋の構成と面積

2LDK (86.5 m <sup>2</sup> )	: 寝室A (13 m <sup>2</sup> : 8畳), 寝室B (7.5 m <sup>2</sup> : 4.5畳), L (13 m <sup>2</sup> : 8畳), D ((7.5 m <sup>2</sup> : 4.5畳), K (5 m <sup>2</sup> : 3畳)
-----------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



図附録 I-6 家庭部門のエネルギーサービスシステム

## 2.1.2 基準年の基準住宅1世帯のサービス量の算定

基準年における各サービスのサービス量を基準サービス量と呼ぶ。その基本となるのは「基準年の基準住宅1世帯のサービス量」である。ただし、この値は統計値から求められる平均値とは異なるため、最終的に基準年サービスを修正し、実際のサービス（エネルギー消費量等）に合わせる。

基準年の基準住宅1世帯に需要される用途別のサービス量は以下の手順により算出した。

### (1) 冷暖房

冷暖房のサービス量は以下の手順で求めた。

#### ① 冷暖房期間の設定

国土交通省の『省エネルギーハンドブック』により、本モデルでは東京都の基準として暖房期間（暖房限界・日平均気温を13～14℃）は11月11日（13.1℃）から4月10日（13.1℃）まで、冷房期間（冷房限界・日平均気温を25～26℃）は7月1日（26.7℃）から9月15日（27.1℃）まで、に設定した。

#### ② 冷暖房時間の設定

『建築学会』により各部屋の冷暖房時間を表附録 I -15 のように設定した。

表附録 I -15 各部屋の冷暖房時間

LDK : 11 時間 (6～9 時, 12～14 時, 16～22 時)
MB (寝室 A) : 2 時間 (21～23 時)
CB (寝室 B) : 3 時間 (20～23 時)

#### ③ 1 サービス量当たりのエネルギー消費量の算定

『日本工業規格』によると、単位床面積当たりの冷暖房負荷は、冷房が220W/m<sup>2</sup>、暖房が230W/m<sup>2</sup>である。但し、住宅の種類は木造で、南向きの和室を基準とした。

表附録 I -16 で表しているように、①、②で算定した冷暖房期間と冷暖房時間をかけた9,761 Mcal/世帯/年、4,793 Mcal/世帯/年を、それぞれ暖房、冷房1サービスとした。その際に、m<sup>2</sup>当たりの暖房時間は1072.8時間、冷房時間は550.7時間である。( (25.5 m<sup>2</sup>×11時間 + 13 m<sup>2</sup>×11時間 + 7.5 m<sup>2</sup>×3時間) ×150日 (或いは77日) ÷46 m<sup>2</sup>)

表附録 I-16 基準住宅における1サービス当たりのエネルギー消費量

	面積 (㎡)	時間	暖房期間 11/11～4/10	冷房期間 7/1～9/15	サービス量	
					暖房(Mcal)	冷房(Mcal)
LDK	25.5	11	150	77	8,322.4	4,086.4
MB	13.0	2	150	77	771.4	378.8
CB	7.5	3	150	77	667.6	327.8
計					9,761.4	4,793.0

## (2) 給湯・厨房

『東京ガスの総合カタログ』により湯量のめやすを表附録 I-17 のように設定した。

本モデルでは、1世帯が1日に必要なお湯の量を394ℓとし、基準年度にはその量のお湯が使われたと仮定する。1985年度に給湯・厨房のため、使用した消費エネルギーは4.043Mcal/世帯/年(石炭からのエネルギー使用量は除く『エネルギー・経済統計要覧』)である。

表附録 I-17 1世帯、1日当たり必要なお湯の量

キッチン:1回の炊事に約20L(平均温度40℃に換算)	20×3(回)= 60
洗面所:平均5～7L	6×3(人)= 18
洗濯機:一回の洗濯に約30L	30×1(回)= 30
浴槽:200～300L	250×1(回)= 250
シャワー:12L	12×3(人)= 36
	計 = 394 L

## (3) 照明

## ① 照明の時間

国土交通省の『省エネルギーハンドブック』により、照明の時間を③のように設定した。

## ② エネルギー消費量

『日本照明協会』のヒアリングにより、1畳(1.62㎡)当たり必要な電力は、白熱灯が40W、蛍光灯は15Wで、1985年度のシェアは蛍光灯が78%、白熱灯22%であるので、1畳当たりに必要なエネルギー消費量は平均は20.5Wとした。

$$(40 \times 0.22 + 15 \times 0.78 = 20.5W)$$

## ③ 1サービス量当たりのエネルギー消費量の算定

①で設定した各部屋の照明時間と、単位部屋(1畳)当たりの必要な電力により、表附録 I-18のような各部屋のエネルギー消費量を算出する。

表附録 I-18 各部屋の照明時間とエネルギー消費量

	時間 (Wh)
LDK	17.5~22.5(1,588.8)
MB	21.5~23.5( 328.0)
CB	18.5~22.5( 369.0)
計	2.29 kWh

$$2.29 \text{ kWh} \times 365 \text{ 日} \times 860 \text{ kcal/kWh} = 718.8 \text{ Mcal/年/世帯}$$

## (4) テレビ, 冷凍冷蔵庫, 洗濯機, 掃除機, 電子レンジ

1 世帯に 1 機器が行うサービスを 1 サービスとした。

## 2.1.3 基準年のサービス量

前述したように本モデルの各サービス機器のサービス量は, 基準年における基準住宅 1 世帯により算定しているため, 実際の住宅に需要されている平均値とは異なる。従って, 本モデルでは基準年サービスを修正し, 実際のサービスに合わせた。

表附録 I-19 に示しているように, 例えば, 暖房の場合, 基準住宅の 1 サービスは年間 9,761Mcal に対して, 実際の住宅の年間平均値は 2,965Mcal である。従って, 実際の住宅では基準住宅に比べて 0.30 サービスを行っていることになる。それで, 日本全体のサービスは基準住宅(基準住宅 1 世帯で需要されているサービスを 1 としている)を基準とすると 38,500,000 サービスとなるが, 実際の住宅のサービスに修正すると 11,505,000 となる。

$$(\text{基準年のエネルギー消費量} \times \text{COP (冷房のみ)}) \div \text{基準エネルギー量 (1 サービス)} \times \text{世帯数}$$

表附録 I-19 各サービスの基準年におけるサービス量

	エネルギー消費量 (Mcal/世帯/年)	COP	基準サービス量 (Mcal/世帯/年)	世帯数 (千世帯)	基準年のサービス (サービス)
冷房	189.0	3	4,793.0	38,500	4,554.0
暖房	2,956.0		9,761.4	38,500	11,505.0
給湯・厨房	4,039.0		4,039.0	38,500	38,456.2
照明	524.0		718.8	38,500	28,066.2
その他				38,500	38,500.0

## 2.1.4 サービスの分割

実際の計算時には上記で定めた基本の 10 サービスのサービス量の内, 暖房を非寒冷地と寒冷地, 給湯・厨房を都市ガス供給地域と非供給地域, 照明を蛍光灯照明と白熱灯照明に分割している。これは, サービスの種類としては同じでも選択の対象となる技術のメニューに違いが

あるためである。

暖房については、ヒートポンプを利用したエアコンが選択対象技術の中で重要な役割を果たすが、原理的に寒冷地での使用には難があり選択対象に加えるのは不適であるとの指摘を受け、エアコンを選択対象に加えた非寒冷地暖房と対象から外した寒冷地暖房の2つに分割した。

給湯・厨房については、都市ガスが供給可能な範囲とそうでない範囲を分け、都市ガス非供給地域のガス器具はLPGをエネルギーとするものとした。

照明については、日本の家屋では蛍光灯照明が大きく普及しており、白熱灯とはその形状や設置場所による住み分けが進んでいるため、通常の蛍光灯と白熱灯が同列の選択対象になりにくいことを考慮し、蛍光灯による照明サービスと白熱灯による照明サービスを分割した。これは、白熱灯と白熱灯型蛍光灯の技術選択を記述するためでもある。

これによって実際の計算時のサービスは、

冷房、暖房（非寒冷地）、暖房（寒冷地）、給湯・厨房（都市ガス地域）、給湯・厨房（LPG地域）、照明（蛍光灯）、照明（白熱灯）、冷蔵、テレビ、洗濯、掃除、レンジ、その他の13サービスとなる。

## 2.2 家庭部門のエネルギーサービス技術

エネルギーサービス技術とは、何らかのエネルギーを消費してサービスを提供する機器の事で、例えば、灯油を消費して暖房サービスを提供する石油ストーブ、電気を消費して冷蔵サービスを提供する冷蔵庫等である。また、家庭部門では一つのエネルギーサービス技術が、一つあるいは複数の種類のエネルギーから、一つあるいは複数のサービスを同時に提供していることがある。例えば、ガス冷暖房兼用エアコンは、冷房と暖房のふたつのサービスを提供し、冷房のサービスは電力、暖房のサービスは電力とガスのエネルギーを使用して行われている。

サービスの提供量は、各機器がそのサービスをどの程度提供できるかを示したものであり、本分析では基準年の基準住宅一世帯の需要サービスを1とする単位で示した。例えば、一台の石油ファンヒーターが提供するサービス量 (3,436 Mcal) は、基準年における日本の基準住宅 (表附録 I -14) 1 世帯が1 年間に必要とする暖房カロリー (9,761 Mcal) の 35.2%に相当するので、サービス量を 0.352 とした。

表附録 I -20 に本分析で対象としたエネルギーサービス技術の一覧を示す。技術毎に価格、耐用年数、提供サービスの種類とサービス提供量 (=表中の産出)、消費エネルギーの種類とエネルギー消費量 (=表中の投入)、のデータが設定してある。“産出”の列は、各エネルギーサービス技術が提供するサービスの量を、“投入”の列はその“産出”のために必要なエネルギーの量を、“技術価格”はその“産出”を行うのに必要な規模の技術 (家庭部門の場合は通常機器一台) の価格を示している。なお、この価格には“産出”に必要なとなるエネルギーの価格は含まれていない。

表附録 I-20 家庭部門におけるエネルギーサービス技術一覧(1)

技術名	技術価額(円)	耐用年数	出力	投入
冷房	冷房専用エアコン	189,000	6 冷房 0.25 冷房サービス	家庭用電力 4.16 10 <sup>2</sup> Mcal
	冷房専用エアコン(省エネ型)	197,500	6 冷房 0.25 冷房サービス	家庭用電力 3.12 10 <sup>2</sup> Mcal
冷暖房	冷暖房エアコン	221,700	6 冷房 0.30 冷房サービス 暖房(非寒冷地) 0.43 暖房サービス	家庭用電力 18.70 10 <sup>2</sup> Mcal
	冷暖房エアコン(省エネ型)	260,000	6 冷房 0.30 冷房サービス 暖房(非寒冷地) 0.43 暖房サービス	家庭用電力 14.01 10 <sup>2</sup> Mcal
	冷暖房エアコン(ガス)	260,000	6 冷房 0.29 冷房サービス 暖房(非寒冷地) 0.40 暖房サービス	家庭用電力 9.27 10 <sup>2</sup> Mcal 都市ガス 43.45 10 <sup>2</sup> Mcal
	冷暖房エアコン(石油)	390,000	6 冷房 0.32 冷房サービス 暖房(非寒冷地) 0.53 暖房サービス	家庭用電力 8.73 10 <sup>2</sup> Mcal 灯油 60.73 10 <sup>2</sup> Mcal
暖房 (非寒冷地)	石油ストーブ	24,000	7 暖房(非寒冷地) 0.24 暖房サービス	灯油 25.49 10 <sup>2</sup> Mcal
	石油ファンヒーター	70,000	6 暖房(非寒冷地) 0.35 暖房サービス	灯油 37.05 10 <sup>2</sup> Mcal 家庭用電力 1.58 10 <sup>2</sup> Mcal
	石油FF式温風機	118,000	6 暖房(非寒冷地) 0.36 暖房サービス	灯油 40.58 10 <sup>2</sup> Mcal 家庭用電力 1.37 10 <sup>2</sup> Mcal
	ガスファンヒーター(都市ガス)	49,800	6 暖房(非寒冷地) 0.22 暖房サービス	都市ガス 21.46 10 <sup>2</sup> Mcal 家庭用電力 0.40 10 <sup>2</sup> Mcal
	ガスヒーター(都市ガス)	133,000	6 暖房(非寒冷地) 0.44 暖房サービス	都市ガス 51.49 10 <sup>2</sup> Mcal 家庭用電力 0.41 10 <sup>2</sup> Mcal
	電気ストーブ	21,500	6 暖房(非寒冷地) 0.11 暖房サービス	家庭用電力 10.73 10 <sup>2</sup> Mcal
	電気ファンヒーター	33,000	6 暖房(非寒冷地) 0.14 暖房サービス	家庭用電力 12.87 10 <sup>2</sup> Mcal
	ガスファンヒーター(LPガス)	49,800	6 暖房(非寒冷地) 0.22 暖房サービス	LPガス 21.46 10 <sup>2</sup> Mcal 家庭用電力 0.40 10 <sup>2</sup> Mcal
	ガスヒーター(LPガス)	133,000	6 暖房(非寒冷地) 0.44 暖房サービス	LPガス 51.49 10 <sup>2</sup> Mcal 家庭用電力 0.41 10 <sup>2</sup> Mcal
暖房 (寒冷地)	石油ストーブ	24,000	7 暖房(寒冷地) 0.24 暖房サービス	灯油 25.49 10 <sup>2</sup> Mcal
	石油ファンヒーター	70,000	6 暖房(寒冷地) 0.35 暖房サービス	灯油 37.05 10 <sup>2</sup> Mcal 家庭用電力 1.58 10 <sup>2</sup> Mcal
	石油FF式温風機	118,000	6 暖房(寒冷地) 0.36 暖房サービス	灯油 40.58 10 <sup>2</sup> Mcal 家庭用電力 1.37 10 <sup>2</sup> Mcal
	ガスファンヒーター(都市ガス)	49,800	6 暖房(寒冷地) 0.22 暖房サービス	都市ガス 21.46 10 <sup>2</sup> Mcal 家庭用電力 0.40 10 <sup>2</sup> Mcal
	ガスヒーター(都市ガス)	133,000	6 暖房(寒冷地) 0.44 暖房サービス	都市ガス 51.49 10 <sup>2</sup> Mcal 家庭用電力 0.41 10 <sup>2</sup> Mcal
	電気ストーブ	21,500	6 暖房(寒冷地) 0.11 暖房サービス	家庭用電力 10.73 10 <sup>2</sup> Mcal
	電気ファンヒーター	33,000	6 暖房(寒冷地) 0.14 暖房サービス	家庭用電力 12.87 10 <sup>2</sup> Mcal
	ガスファンヒーター(LPガス)	49,800	6 暖房(寒冷地) 0.22 暖房サービス	LPガス 21.46 10 <sup>2</sup> Mcal 家庭用電力 0.40 10 <sup>2</sup> Mcal
	ガスヒーター(LPガス)	133,000	6 暖房(寒冷地) 0.44 暖房サービス	LPガス 51.49 10 <sup>2</sup> Mcal 家庭用電力 0.41 10 <sup>2</sup> Mcal
給湯 (都市ガス 地域)	石油給湯器	244,000	15 給湯(都市ガス地域) 1.00 給湯サービス	灯油 40.01 10 <sup>2</sup> Mcal
	ガス給湯器	136,000	15 給湯(都市ガス地域) 1.00 給湯サービス	都市ガス 44.94 10 <sup>2</sup> Mcal
	電気給湯器	190,000	15 給湯(都市ガス地域) 1.00 給湯サービス	家庭用電力 32.81 10 <sup>2</sup> Mcal
	潜熱回収型給湯器	149,600	15 給湯(都市ガス地域) 1.00 給湯サービス	都市ガス 40.45 10 <sup>2</sup> Mcal
	ソーラーシステム	550,000	33 給湯(都市ガス地域) 0.60 給湯サービス	太陽熱 26.97 10 <sup>2</sup> Mcal
	太陽熱温水器	190,000	10 給湯(都市ガス地域) 0.30 給湯サービス	太陽熱 13.48 10 <sup>2</sup> Mcal
給湯 (LPG地域)	石油給湯器	244,000	15 給湯(LPガス地域) 1.00 給湯サービス	灯油 40.01 10 <sup>2</sup> Mcal
	ガス給湯器	136,000	15 給湯(LPガス地域) 1.00 給湯サービス	LPガス 44.94 10 <sup>2</sup> Mcal
	電気給湯器	190,000	15 給湯(LPガス地域) 1.00 給湯サービス	家庭用電力 32.81 10 <sup>2</sup> Mcal
	潜熱回収型給湯器	149,600	15 給湯(LPガス地域) 1.00 給湯サービス	LPガス 40.45 10 <sup>2</sup> Mcal
	ソーラーシステム	550,000	33 給湯(LPガス地域) 0.60 給湯サービス	太陽熱 26.97 10 <sup>2</sup> Mcal
	太陽熱温水器	190,000	10 給湯(LPガス地域) 0.30 給湯サービス	太陽熱 13.48 10 <sup>2</sup> Mcal

・価格、提供サービス量、消費エネルギー量は各機器1台当たりの値

・\*)1基準世帯が1年間にその用途で必要とする提供サービス量を1サービスと定義する



表附録 I-21 家庭部門におけるエネルギーサービス技術一覧(2)

技術名	技術価格(円)	耐用年数	産出	投入
冷房・暖房 ・給湯	電力多機能ヒートポンプ (都市ガス地域)	1,426,000	6 冷房 0.67 冷房サービス 暖房(非寒冷地) 0.89 暖房サービス 給湯(都市ガス地域) 0.32 給湯サービス	家庭用電力 50.07 10 <sup>2</sup> Mcal
	ガスヒートポンプ (都市ガス地域)	1,370,000	6 冷房 0.92 冷房サービス 暖房(非寒冷地) 1.06 暖房サービス	都市ガス 187.69 10 <sup>2</sup> Mcal
	石油エンジンヒートポンプ (都市ガス地域)	1,255,000	6 冷房 0.92 冷房サービス 暖房(非寒冷地) 1.06 暖房サービス	灯油 187.69 10 <sup>2</sup> Mcal
	電力多機能ヒートポンプ (LPG地域)	1,426,000	6 冷房 0.67 冷房サービス 暖房(非寒冷地) 0.89 暖房サービス 給湯(LPガス地域) 0.32 給湯サービス	家庭用電力 50.07 10 <sup>2</sup> Mcal
	ガスヒートポンプ (LPG地域)	1,370,000	6 冷房 0.92 冷房サービス 暖房(非寒冷地) 1.06 暖房サービス	LPガス 187.69 10 <sup>2</sup> Mcal
	石油エンジンヒートポンプ (LPG地域)	1,255,000	6 冷房 0.92 冷房サービス 暖房(非寒冷地) 1.06 暖房サービス	灯油 187.69 10 <sup>2</sup> Mcal
照明	白熱灯	200	1 照明(白熱灯) 0.04 照明サービス	家庭用電力 0.50 10 <sup>2</sup> Mcal
	白熱灯型蛍光灯	2,100	6 照明(白熱灯) 0.04 照明サービス	家庭用電力 0.13 10 <sup>2</sup> Mcal
	蛍光灯	1,000	7 照明(蛍光灯) 0.04 照明サービス	家庭用電力 0.12 10 <sup>2</sup> Mcal
家電製品	テレビ	41,200	5 テレビ 0.57 照明サービス	家庭用電力 1.82 10 <sup>2</sup> Mcal
	冷蔵庫	67,100	6 冷蔵庫 0.85 冷蔵サービス	家庭用電力 6.33 10 <sup>2</sup> Mcal
	洗濯機	54,700	6 洗濯 0.95 洗濯サービス	家庭用電力 0.38 10 <sup>2</sup> Mcal
	電気掃除機	29,400	6 掃除 0.83 掃除サービス	家庭用電力 0.82 10 <sup>2</sup> Mcal
	電子レンジ	58,400	6 電子レンジ 2.32 調理サービス	家庭用電力 0.98 10 <sup>2</sup> Mcal
	その他動力	—	6 その他動力 1.00 その他サービス	家庭用電力 13.80 10 <sup>2</sup> Mcal
電力	太陽光発電	3,000,000	20 家庭用電力 37.67 10 <sup>2</sup> Mcal	太陽熱 98.55 10 <sup>2</sup> Mcal
	購入電力	—	1 家庭用電力 1.00 10 <sup>2</sup> Mcal	購入電力 1.00 10 <sup>2</sup> Mcal
その他	その他(都市ガス)	—	1 その他 1 その他サービス	都市ガス 1 10 <sup>2</sup> Mcal
	その他(灯油)	—	1 その他 1 その他サービス	灯油 1 10 <sup>2</sup> Mcal
	その他(LPG)	—	1 その他 1 その他サービス	LPガス 1 10 <sup>2</sup> Mcal
	その他(太陽熱)	—	1 その他 1 その他サービス	太陽熱 1 10 <sup>2</sup> Mcal
	その他(家庭用電力)	—	1 その他 1 その他サービス	家庭用電力 1 10 <sup>2</sup> Mcal
	その他(コークス)	—	1 その他 1 その他サービス	コークス 1 10 <sup>2</sup> Mcal

・価格、提供サービス量、消費エネルギー量は各機器1台当たりの値

・\*)1基準世帯が1年間にその用途で必要とする提供サービス量を1サービスと定義する

### 3 業務部門

#### 3.1 業務部門のモデル化

##### 3.1.1 サービス

国によって、業務部門の分類が異なると考えられるが、日本版モデルでの業務部門は事務所ビル、卸、小売、飲食店、学校、試験研究機関、ホテル、旅館、病院医療機関、劇場娯楽施設、その他のサービス業を含んでいる。

業務部門のサービス分野は国によって異なる可能性があるが、原則として多サービス分野を詳細に分類する必要がある。家庭部門と同様に、通常、業務部門のエネルギー消費用途は、冷房、暖房、給湯、厨房、その他動力の5つに分けられることが多いが、現在のエネルギー消費の傾向や今後の我が国の状況を考えれば、その他動力部分を更に詳細に記述することが望ましい。ここでは、業務部門のサービスを基本的に、冷房、暖房、給湯、厨房、照明、非常口照明、複写、計算、昇降、その他の10サービスに分割した（図附録I-7参照）。

サービスの単位はエネルギー消費の用途に応じて定義される。ここでは、冷房は冷房カロリー量、暖房は暖房カロリー量、給湯は給湯カロリー量、照明は明るさ、複写、計算等は床面積当たりのエネルギー消費量から単位サービス量を算出した。

##### 3.1.2 基準サービス量の算定

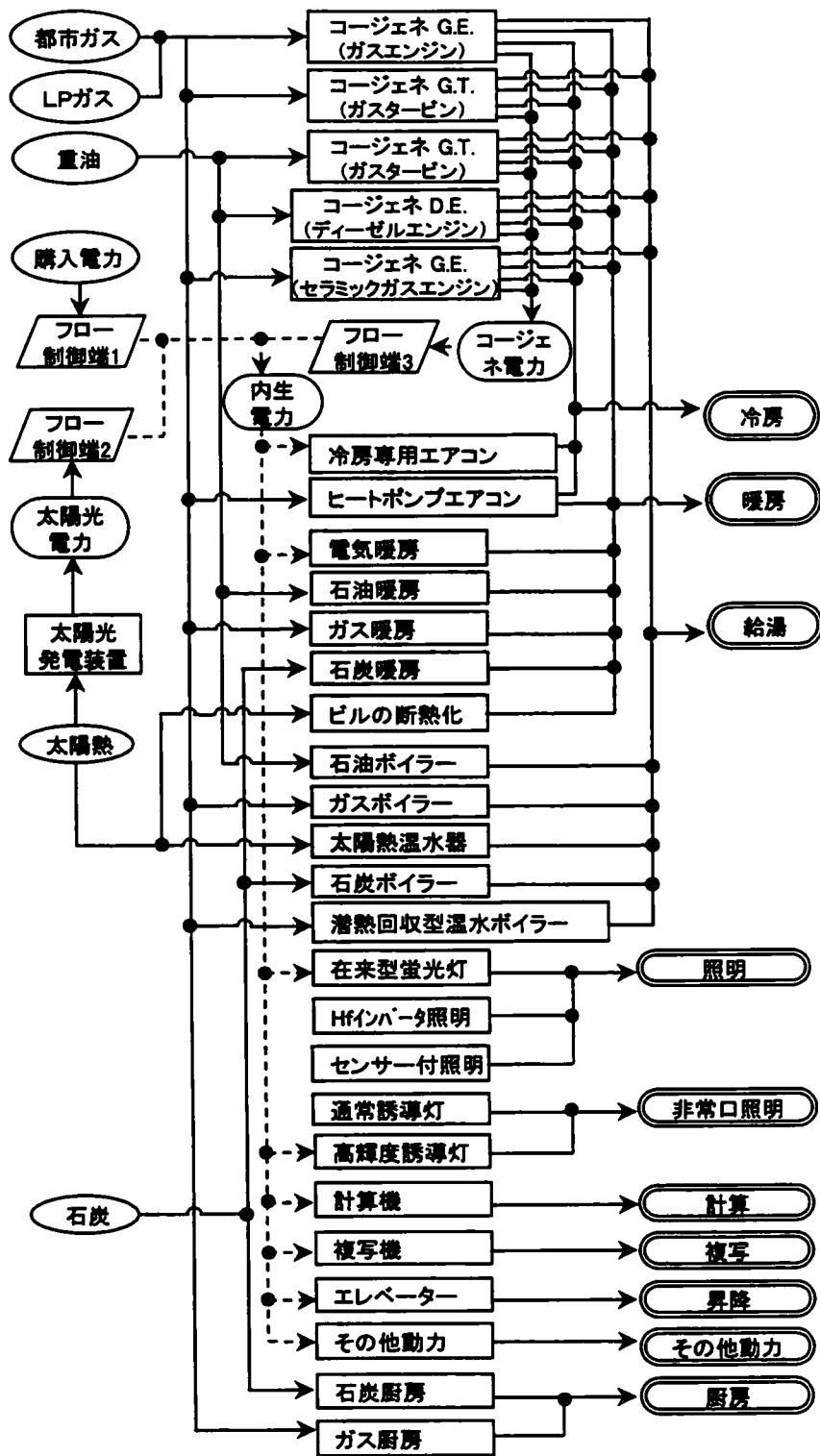
冷房、暖房、給湯の基準サービス量は単位床面積当たりのエネルギー消費量を基にカロリー量ベースで下記のように算出した。

$$[\text{基準サービス量}] = \Sigma \{ [\text{基準年の単位床面積当たりの用途別燃料種別エネルギー消費量}] \times [\text{各燃料種の効率（燃焼効率 or COP 等）}] \} \times [\text{床面積}]$$

つまり、

$$[\text{冷房の基準サービス量}] = \{ \text{冷房用途の単位面積当たりの} \quad [\text{電力使用量}] \times [\text{COP}] \\ + [\text{ガス使用量}] \times [\text{燃焼効率}] + [\text{石油使用量}] \times [\text{燃焼効率}] \} \\ \times [\text{床面積}]$$

となる。例えば、1990年における基準サービス量は表附録I-22のようになる。



図附録 I-7 業務部門のエネルギーサービスシステム

表附録 I -22 基準サービス量の算定

サービス種	床面積 10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup>	用途別燃料種別消費量				効率				基準 サービス量
		電力	ガス	石油	石炭	電力	ガス	石油	石炭	
冷房	1286	14.4	4.1	3.8	0.0	2.6	0.86	0.79	0.79	56,390
暖房	1286	3.7	4.4	72.1	0.7	2.6	0.86	0.79	0.79	91,220
給湯	1286	0.0	15.5	45.9	2.8	0.93	0.86	0.79	0.79	66,750

注) 用途別燃料種別消費量の単位は[Mcal/m<sup>2</sup>]である。

よって基準サービス量の物理次元は[10<sup>6</sup>Mcal/年]となる。

その他のサービス種については、床面積当たりの消費エネルギー量を単位サービス量としたため、基準サービス量は基準年の床面積と等しくなる。

### 3.1.3 サービスの分割

実際の計算時には上記で定めた基本の 10 サービスのサービス量の内、給湯を都市ガス供給地域と非供給地域に分割している。これは家庭部門と同様、サービスの種類としては同じでも選択の対象となる技術のメニューに違いがあるためである。

なお、家庭部門とは異なり暖房についてサービスを分割しないのは、技術メニューが異なるため電気式ヒートポンプを用いたエアコンの最大シェアを抑えることで寒冷地への普及を排除することができるためである。また、厨房はそのほとんどをガス使用機器が占めているため、厨房サービスの内部で都市ガス使用機器と LPG 使用機器の技術を設定することにより、実質的に地域の区分を記述することができるためである。

これによって実際の計算時のサービスは、

冷房、暖房、給湯（都市ガス地域）、給湯（LPG 地域）、厨房、照明、非常口照明、複写、計算、昇降、その他

の 11 サービスとなる。

### 3.2 業務部門のエネルギーサービス技術

エネルギーサービス技術とは、何らかのエネルギーを消費して上記のサービスを提供する機器の事で、例えば、重油を消費して暖房サービスを提供する石油暖房、都市ガスを消費して給湯サービスを提供するガスボイラ給湯等である。また、業務部門での大きな特長はコージェネレーションのようにエネルギーを多段利用していることである。コージェネレーションは、ガスや石油のエネルギーから電力を得ると同時にその廃熱を利用して暖房や給湯等のサービスを行っている。また、照明等、電力を使用しているサービス機器は、コージェネレーションから得た電力、あるいは購入電力よりサービスを行っている。さらに、一つのサービス機器は、一つ、あるいは、複数のサービスを同時に提供している。例えば、ガスヒートポンプはガスのエネルギーを使用して冷房と暖房のサービスを提供している。

サービス提供量は各技術がそのサービスをどの程度提供できるかを示したものであり、前述したように対象とするサービスによってその単位が異なる。冷房、暖房、給湯サービスについては、その技術が1年間に提供する冷房、暖房、給湯カロリー量を示しており、その他のサービスについては、単位面積当たりの提供サービス量を示している。

表附録 I -23 に本分析で対象としたエネルギーサービス技術の一覧を示す。技術毎に価格、耐用年数、提供サービスの種類とサービス提供量（＝表中の産出）、消費エネルギーの種類とエネルギー消費量（＝表中の投入）、のデータが設定してある。“産出”の列は、各エネルギーサービス技術が提供するサービスの量を、“投入”の列はその“産出”のために必要なエネルギーの量を、“技術価格”はその“産出”を行うのに必要な規模の技術（装置、設備）の価格を示している。なお、この価格には“産出”に必要となるエネルギーの価格は含まれていない。

表附録 I -23 業務部門におけるエネルギーサービス技術一覧(1)

	技術名	技術価格(円)	耐用年数	産出	投入
冷房	電気冷房	580,000	10	冷房 25.58 10 <sup>2</sup> Mcal	業務用電力 9.59 10 <sup>2</sup> Mcal
暖房	電気暖房	580,000	10	暖房 63.60 10 <sup>2</sup> Mcal	業務用電力 18.68 10 <sup>2</sup> Mcal
	石油暖房	1,186,000	10	暖房 240.00 10 <sup>2</sup> Mcal	重油 304.13 10 <sup>2</sup> Mcal
	ガス暖房(都市ガス)	1,186,000	10	暖房 240.00 10 <sup>2</sup> Mcal	都市ガス 278.40 10 <sup>2</sup> Mcal
	石炭暖房	1,186,000	10	暖房 240.00 10 <sup>2</sup> Mcal	コークス 304.13 10 <sup>2</sup> Mcal
	ガス暖房(LPガス)	1,186,000	10	暖房 240.00 10 <sup>2</sup> Mcal	LPガス 278.40 10 <sup>2</sup> Mcal

・価格、提供サービス量、消費エネルギー量は各機器1台当たり(コージェネ、太陽光は1kW当たり)の値

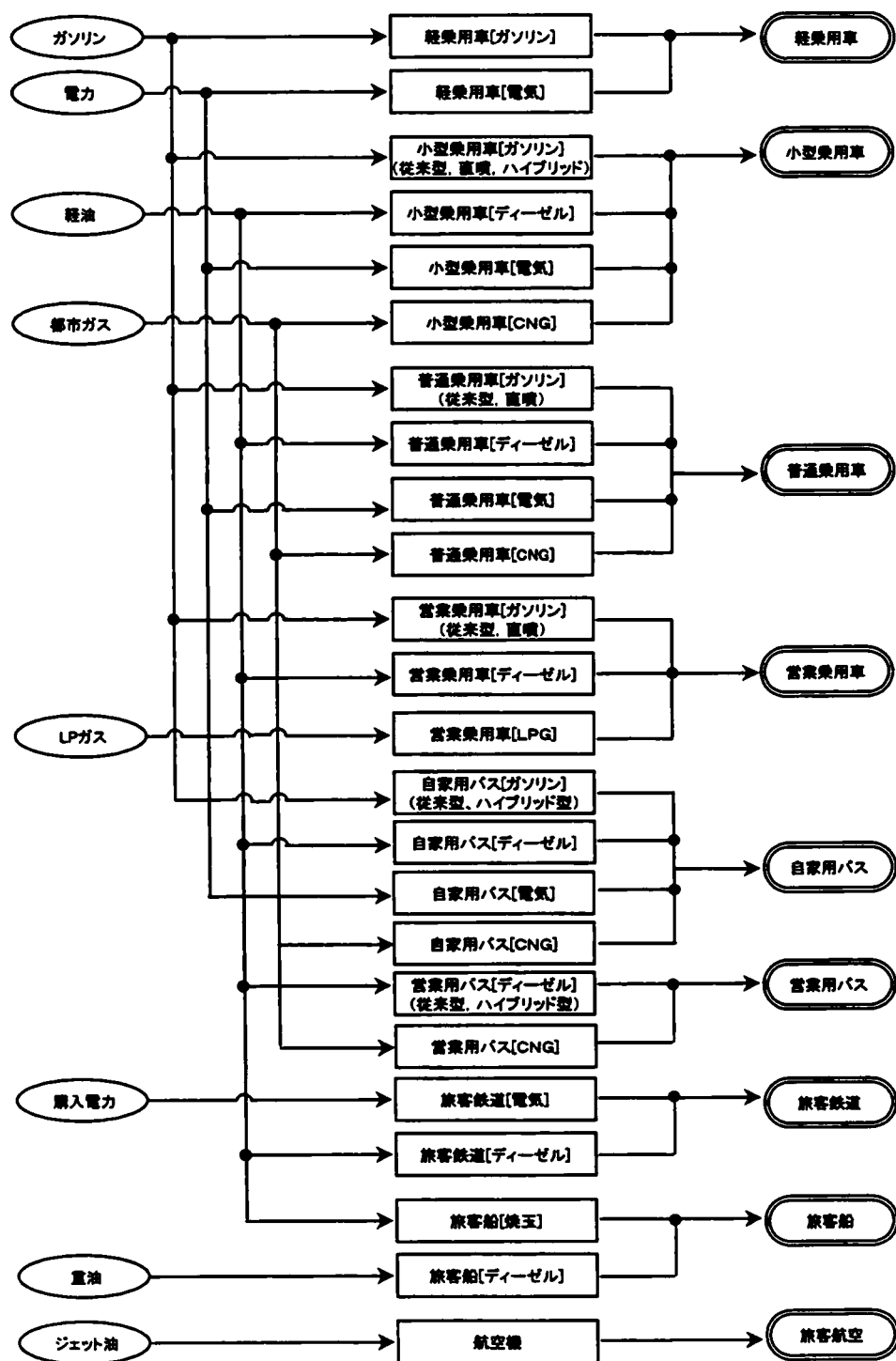
表附録 I-24 業務部門におけるエネルギーサービス技術一覧(2)

技術名	技術価格(円)	耐用年数	出力	消費エネルギー	
冷房・暖房	吸収式冷暖房(都市ガス)	58,100,000	30	冷房 9300.00 10 <sup>2</sup> Mcal 暖房 15200.00 10 <sup>2</sup> Mcal	都市ガス 27240.00 10 <sup>2</sup> Mcal 業務用電力 120.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	吸収式冷暖房(重油)	60,000,000	30	冷房 9300.00 10 <sup>2</sup> Mcal 暖房 15200.00 10 <sup>2</sup> Mcal	重油 27240.00 10 <sup>2</sup> Mcal 業務用電力 207.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	ガスヒートポンプ	2,420,000	20	冷房 148.00 10 <sup>2</sup> Mcal 暖房 346.00 10 <sup>2</sup> Mcal	都市ガス 529.00 10 <sup>2</sup> Mcal 業務用電力 15.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	灯油ヒートポンプ	2,200,000	20	冷房 148.00 10 <sup>2</sup> Mcal 暖房 330.00 10 <sup>2</sup> Mcal	灯油 399.00 10 <sup>2</sup> Mcal 業務用電力 9.00 10 <sup>2</sup> Mcal
	給湯 (都市ガス地域)	石油ボイラ給湯 1,186,000 ガスボイラ給湯 1,186,000 太陽熱温水器 1,010,000 石炭ボイラ給湯 1,186,000 潜熱回収型温水ボイラー 1,305,000	20	給湯(都市ガス地域) 240.00 10 <sup>2</sup> Mcal 給湯(都市ガス地域) 240.00 10 <sup>2</sup> Mcal 給湯(都市ガス地域) 30.60 10 <sup>2</sup> Mcal 給湯(都市ガス地域) 240.00 10 <sup>2</sup> Mcal 給湯(都市ガス地域) 240.00 10 <sup>2</sup> Mcal	重油 304.13 10 <sup>2</sup> Mcal 都市ガス 278.40 10 <sup>2</sup> Mcal 太陽熱 30.60 10 <sup>2</sup> Mcal コークス 304.13 10 <sup>2</sup> Mcal 都市ガス 250.56 10 <sup>2</sup> Mcal
給湯 (LPG地域)	石油ボイラ給湯 1,186,000 ガスボイラ給湯 1,186,000 太陽熱温水器 1,010,000 石炭ボイラ給湯 1,186,000 潜熱回収型温水ボイラー 1,305,000	20	給湯(LPG地域) 240.00 10 <sup>2</sup> Mcal 給湯(LPG地域) 240.00 10 <sup>2</sup> Mcal 給湯(LPG地域) 30.60 10 <sup>2</sup> Mcal 給湯(LPG地域) 240.00 10 <sup>2</sup> Mcal 給湯(LPG地域) 240.00 10 <sup>2</sup> Mcal	重油 304.13 10 <sup>2</sup> Mcal LPガス 278.40 10 <sup>2</sup> Mcal 太陽熱 30.60 10 <sup>2</sup> Mcal コークス 304.13 10 <sup>2</sup> Mcal LPガス 250.56 10 <sup>2</sup> Mcal	
コージェネ	コージェネレーション (エンジン・都市ガス)	200,000	30	冷房 2.53 10 <sup>2</sup> Mcal 暖房 12.09 10 <sup>2</sup> Mcal 給湯(都市ガス地域) 13.22 10 <sup>2</sup> Mcal コージェネ電力 14.53 10 <sup>2</sup> Mcal	都市ガス 58.34 10 <sup>2</sup> Mcal
	コージェネレーション (エンジン・重油)	200,000	30	冷房 2.24 10 <sup>2</sup> Mcal 暖房 10.71 10 <sup>2</sup> Mcal 給湯(都市ガス地域) 11.71 10 <sup>2</sup> Mcal コージェネ電力 27.10 10 <sup>2</sup> Mcal	重油 77.61 10 <sup>2</sup> Mcal
	コージェネレーション (タービン・都市ガス)	220,000	30	冷房 3.81 10 <sup>2</sup> Mcal 暖房 18.22 10 <sup>2</sup> Mcal 給湯(都市ガス地域) 19.91 10 <sup>2</sup> Mcal コージェネ電力 22.16 10 <sup>2</sup> Mcal	都市ガス 103.92 10 <sup>2</sup> Mcal
	コージェネレーション (タービン・重油)	220,000	30	冷房 3.81 10 <sup>2</sup> Mcal 暖房 18.22 10 <sup>2</sup> Mcal 給湯(LPG地域) 19.91 10 <sup>2</sup> Mcal コージェネ電力 22.16 10 <sup>2</sup> Mcal	重油 103.92 10 <sup>2</sup> Mcal
照明	蛍光灯	10,450	11	照明 0.01 10 <sup>2</sup> Mcal	業務用電力 0.51 10 <sup>2</sup> Mcal
	Hfインバータ	10,770	11	照明 0.01 10 <sup>2</sup> Mcal	業務用電力 0.33 10 <sup>2</sup> Mcal
	センサー付き照明	11,540	11	照明 0.01 10 <sup>2</sup> Mcal	業務用電力 0.24 10 <sup>2</sup> Mcal
誘導灯	通常誘導灯	391	10	非常口照明 0.01 10 <sup>2</sup> Mcal	業務用電力 0.02 10 <sup>2</sup> Mcal
	高輝度誘導灯	410	10	非常口照明 0.01 10 <sup>2</sup> Mcal	業務用電力 0.01 10 <sup>2</sup> Mcal
その他動力	複写機	300	6	複写 0.01 10 <sup>2</sup> Mcal	業務用電力 0.02 10 <sup>2</sup> Mcal
	計算機	6,100	6	計算 0.01 10 <sup>2</sup> Mcal	業務用電力 0.02 10 <sup>2</sup> Mcal
	昇降機	6,900	17	昇降 0.01 10 <sup>2</sup> Mcal	業務用電力 0.03 10 <sup>2</sup> Mcal
	その他動力	—	6	その他動力 0.01 10 <sup>2</sup> Mcal	業務用電力 0.39 10 <sup>2</sup> Mcal
厨房	厨房(石炭)	—	6	厨房 0.01 10 <sup>2</sup> Mcal	都市ガス 0.16 10 <sup>2</sup> Mcal
	厨房(都市ガス)	—	6	厨房 0.01 10 <sup>2</sup> Mcal	コークス 0.16 10 <sup>2</sup> Mcal
	厨房(LPGガス)	—	6	厨房 0.01 10 <sup>2</sup> Mcal	LPガス 0.16 10 <sup>2</sup> Mcal
電力	太陽光発電	1700000	20	業務用電力 12.556 10 <sup>2</sup> Mcal	太陽光 32.85 10 <sup>2</sup> Mcal
	購入電力	—	1	業務用電力 1 10 <sup>2</sup> Mcal	購入電力 1 10 <sup>2</sup> Mcal
	自家発電(コージェネ)	—	1	業務用電力 1 10 <sup>2</sup> Mcal	コージェネ電力 1 10 <sup>2</sup> Mcal
その他	その他(都市ガス)	—	1	その他 1 10 <sup>2</sup> Mcal	都市ガス 10 <sup>2</sup> Mcal
	その他(重油)	—	1	その他 1 10 <sup>2</sup> Mcal	重油(OHC) 10 <sup>2</sup> Mcal
	その他(LPG)	—	1	その他 1 10 <sup>2</sup> Mcal	LPガス 10 <sup>2</sup> Mcal
	その他(太陽熱)	—	1	その他 1 10 <sup>2</sup> Mcal	太陽熱 10 <sup>2</sup> Mcal
	その他(電力)	—	1	その他 1 10 <sup>2</sup> Mcal	業務用電力(中間) 10 <sup>2</sup> Mcal
	その他(コークス)	—	1	その他 1 10 <sup>2</sup> Mcal	コークス 10 <sup>2</sup> Mcal

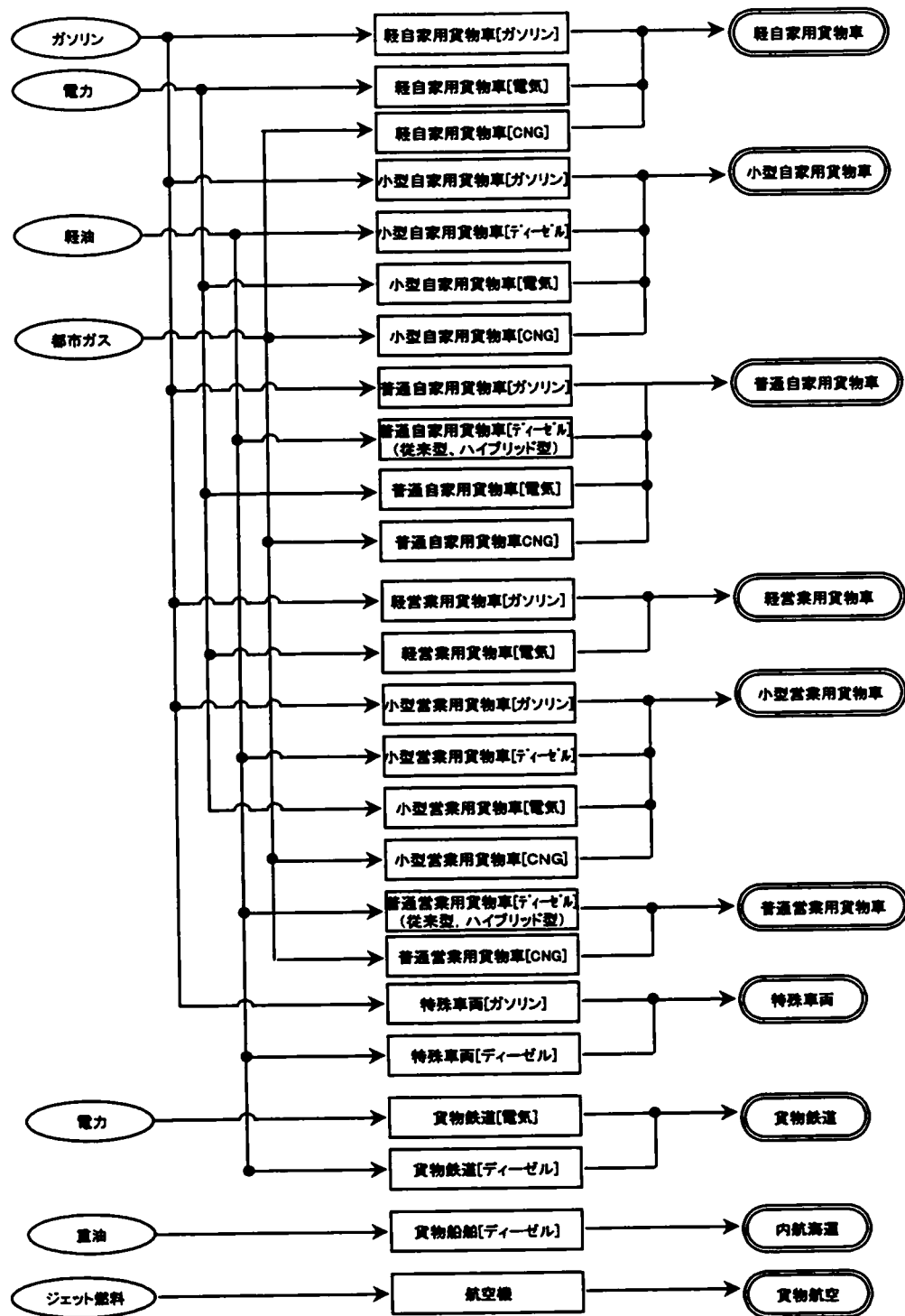
・価格、提供サービス量、消費エネルギー量は各機器1台当たり(コージェネ、太陽光は1kW当たり)の値

## 4 交通部門

### 4.1 交通部門のモデル化



図附録 I-8 交通部門(旅客)のエネルギーサービスシステム



図附録 I -9 交通部門(貨物)のエネルギーサービスシステム



## 4.2 交通部門のエネルギーサービス技術

交通部門における技術選択は、  
表附録 I -25及び表附録 I -26に示すエネルギーサービス技術を対象とした。

表附録 I -25 交通部門(旅客)におけるエネルギーサービス技術一覧

技術名	技術価格(円)	耐用年数	技術名	技術価格(円)	耐用年数	投入
軽乗用車	軽乗用車(ガソリン)	7,952	9	軽乗用車(自家)	1 10 <sup>2</sup> 人・km	ガソリン 0.50 10 <sup>2</sup> Mcal
	軽乗用車(電気)	29,661	9	軽乗用車(自家)	1 10 <sup>2</sup> 人・km	電力(業務) 0.16 10 <sup>2</sup> Mcal
小型乗用車	小型乗用車(ガソリン)	9,805	9	小型乗用車(自家)	1 10 <sup>2</sup> 人・km	ガソリン 0.56 10 <sup>2</sup> Mcal
	小型乗用車(ディーゼル)	9,499	9	小型乗用車(自家)	1 10 <sup>2</sup> 人・km	軽油 0.71 10 <sup>2</sup> Mcal
	小型乗用車(G直噴)	10,295	9	小型乗用車(自家)	1 10 <sup>2</sup> 人・km	ガソリン 0.42 10 <sup>2</sup> Mcal
	小型乗用車(電気)	32,293	9	小型乗用車(自家)	1 10 <sup>2</sup> 人・km	電力(業務) 0.10 10 <sup>2</sup> Mcal
	小型乗用車(CNG)	13,048	9	小型乗用車(自家)	1 10 <sup>2</sup> 人・km	都市ガス 0.56 10 <sup>2</sup> Mcal
	小型乗用車(Dハイブリッド)	14,026	9	小型乗用車(自家)	1 10 <sup>2</sup> 人・km	ガソリン 0.28 10 <sup>2</sup> Mcal
普通乗用車	普通乗用車(ガソリン)	19,049	9	普通乗用車(自家)	1 10 <sup>2</sup> 人・km	ガソリン 0.82 10 <sup>2</sup> Mcal
	普通乗用車(ディーゼル)	18,430	9	普通乗用車(自家)	1 10 <sup>2</sup> 人・km	軽油 1.04 10 <sup>2</sup> Mcal
	普通乗用車(G直噴)	19,558	9	普通乗用車(自家)	1 10 <sup>2</sup> 人・km	ガソリン 0.63 10 <sup>2</sup> Mcal
	普通乗用車(電気)	62,237	9	普通乗用車(自家)	1 10 <sup>2</sup> 人・km	電力(業務) 0.11 10 <sup>2</sup> Mcal
	普通乗用車(CNG)	42,013	9	普通乗用車(自家)	1 10 <sup>2</sup> 人・km	都市ガス 0.96 10 <sup>2</sup> Mcal
営業乗用車	営業乗用車(LPG)	2,802	9	営業乗用車	1 10 <sup>2</sup> 人・km	LPG(運輸) 1.51 10 <sup>2</sup> Mcal
	営業乗用車(ガソリン)	5,418	9	営業乗用車	1 10 <sup>2</sup> 人・km	ガソリン 1.03 10 <sup>2</sup> Mcal
	営業乗用車(ディーゼル)	2,945	9	営業乗用車	1 10 <sup>2</sup> 人・km	軽油 1.01 10 <sup>2</sup> Mcal
	営業乗用車(G直噴)	5,563	9	営業乗用車	1 10 <sup>2</sup> 人・km	ガソリン 0.79 10 <sup>2</sup> Mcal
自家用バス	自家用バス(ガソリン)	1,082	11	自家用バス	1 10 <sup>2</sup> 人・km	ガソリン 0.10 10 <sup>2</sup> Mcal
	自家用バス(ディーゼル)	2,881	14	自家用バス	1 10 <sup>2</sup> 人・km	軽油 0.15 10 <sup>2</sup> Mcal
	自家用バス(電気)	15,793	14	自家用バス	1 10 <sup>2</sup> 人・km	電力(業務) 0.11 10 <sup>2</sup> Mcal
	自家用バス(CNG)	10,524	14	自家用バス	1 10 <sup>2</sup> 人・km	都市ガス 0.41 10 <sup>2</sup> Mcal
	自家用バス(Dハイブリッド)	8,844	11	自家用バス	1 10 <sup>2</sup> 人・km	軽油 0.13 10 <sup>2</sup> Mcal
営業用バス	営業用バス(ディーゼル)	1,737	14	営業用バス	1 10 <sup>2</sup> 人・km	軽油 0.19 10 <sup>2</sup> Mcal
	営業用バス(CNG)	2,791	14	営業用バス	1 10 <sup>2</sup> 人・km	都市ガス 0.87 10 <sup>2</sup> Mcal
	営業用バス(Dハイブリッド)	2,638	14	営業用バス	1 10 <sup>2</sup> 人・km	軽油 0.16 10 <sup>2</sup> Mcal
旅客鉄道	旅客鉄道(電気)	-	-	旅客鉄道	1 10 <sup>2</sup> 人・km	電力(産業) 0.11 10 <sup>2</sup> Mcal
	旅客鉄道(ディーゼル)	-	-	旅客鉄道	1 10 <sup>2</sup> 人・km	軽油 0.11 10 <sup>2</sup> Mcal
旅客船	旅客船(ディーゼル)	-	-	旅客船	1 10 <sup>2</sup> 人・km	重油 3.35 10 <sup>2</sup> Mcal
	旅客船(焼玉)	-	-	旅客船	1 10 <sup>2</sup> 人・km	軽油 3.35 10 <sup>2</sup> Mcal
旅客航空	旅客航空(ジェット)	-	-	旅客航空	1 10 <sup>2</sup> 人・km	ジェット燃料 0.42 10 <sup>2</sup> Mcal

表附録 I -26 交通部門(貨物)におけるエネルギーサービス技術一覧

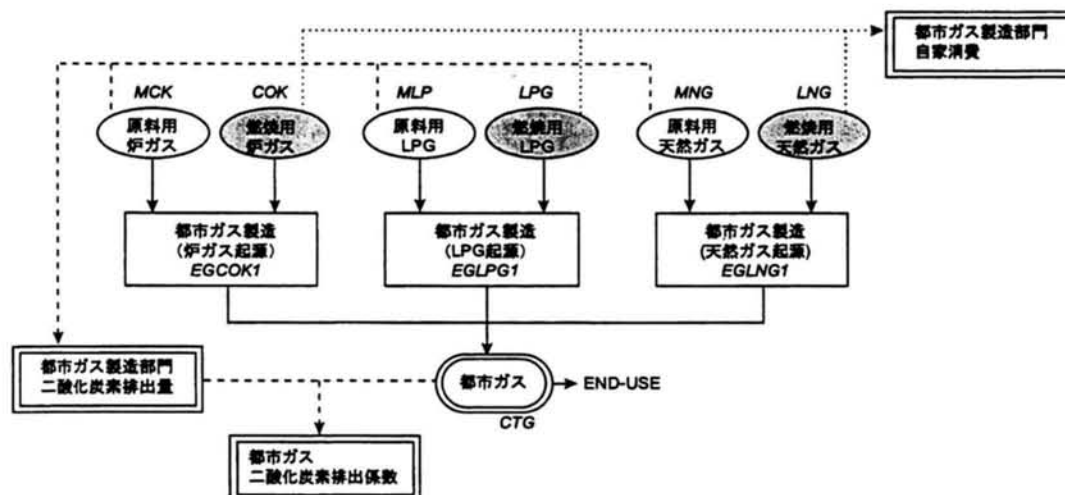
	技術名	技術価格(円)	耐用年数	技術名	投入
軽貨物車 (自家用)	軽自家貨物(ガソリン)	377,263	9	軽貨物車(自家)	1 10 <sup>2</sup> t・km
	軽自家貨物(電気)	1,998,472	9	軽貨物車(自家)	1 10 <sup>2</sup> t・km
	軽自家貨物(CNG)	1,345,910	9	軽貨物車(自家)	1 10 <sup>2</sup> t・km
小型貨物車 (自家用)	小型自家貨物(ガソリン)	67,326	9	小型貨物車(自家)	1 10 <sup>2</sup> t・km
	小型自家貨物(ディーゼル)	69,735	9	小型貨物車(自家)	1 10 <sup>2</sup> t・km
	小型自家貨物(電気)	711,933	9	小型貨物車(自家)	1 10 <sup>2</sup> t・km
	小型自家貨物(CNG)	158,489	9	小型貨物車(自家)	1 10 <sup>2</sup> t・km
普通貨物車 (自家用)	普通自家貨物(ガソリン)	5,197	11	普通貨物車(自家)	1 10 <sup>2</sup> t・km
	普通自家貨物(ディーゼル)	7,639	11	普通貨物車(自家)	1 10 <sup>2</sup> t・km
	普通自家貨物(電気)	66,369	11	普通貨物車(自家)	1 10 <sup>2</sup> t・km
	普通自家貨物(CNG)	20,574	11	普通貨物車(自家)	1 10 <sup>2</sup> t・km
	普通自家貨物(Dnイブリット)	39,821	11	普通貨物車(自家)	1 10 <sup>2</sup> t・km
軽貨物車 (営業用)	軽営業貨物(ガソリン)	17,477	9	軽貨物車(営業)	1 10 <sup>2</sup> t・km
	軽営業貨物(電気)	92,583	9	軽貨物車(営業)	1 10 <sup>2</sup> t・km
	軽営業貨物(CNG)	62,352	9	軽貨物車(営業)	1 10 <sup>2</sup> t・km
小型貨物車 (営業用)	小型営業貨物(ガソリン)	11,014	9	小型貨物車(営業)	1 10 <sup>2</sup> t・km
	小型営業貨物(ディーゼル)	12,492	9	小型貨物車(営業)	1 10 <sup>2</sup> t・km
	小型営業貨物(電気)	91,150	9	小型貨物車(営業)	1 10 <sup>2</sup> t・km
	小型営業貨物(CNG)	20,292	9	小型貨物車(営業)	1 10 <sup>2</sup> t・km
普通貨物車 (営業用)	普通営業貨物(ディーゼル)	2,109	11	普通貨物車(営業)	1 10 <sup>2</sup> t・km
	普通営業貨物(CNG)	4,200	11	普通貨物車(営業)	1 10 <sup>2</sup> t・km
	普通営業貨物(Dnイブリット)	5,305	11	普通貨物車(営業)	1 10 <sup>2</sup> t・km
貨物鉄道	貨物鉄道(電気)	-	-	貨物鉄道	1 10 <sup>2</sup> t・km
	貨物鉄道(ディーゼル)	-	-	貨物鉄道	1 10 <sup>2</sup> t・km
内航海運	内航海運(ディーゼル)	-	-	内航海運	1 10 <sup>2</sup> t・km
貨物航空	貨物航空(ジェット)	-	-	貨物航空	1 10 <sup>2</sup> t・km

## 5 エネルギー転換部門

### 5.1 ガス製造業

#### 5.1.1 ガス製造業のモデル化

図附録 I -10に示すように都市ガス製造では、最終需要部門におけるガス需要量を最終エネルギーサービス量とし、それを満たすようにエネルギーサービス技術が選択される。都市ガス製造段階において燃焼用に消費されるエネルギー及びそれに伴う二酸化炭素排出量は、都市ガス製造部門における自家消費分として勘定される。原料用に使用されているエネルギーの構成比から、都市ガスの二酸化炭素排出係数を算定し、最終需要部門における都市ガス需要量に乗じて都市ガス消費に伴う二酸化炭素排出量を算定する。



図附録 I -10 都市ガス製造業のエネルギーサービスシステム

## 5.1.2 都市ガス製造業のエネルギーサービス技術

都市ガス製造業における技術選択は、表附録 I -27に示すエネルギーサービス技術を対象とした。

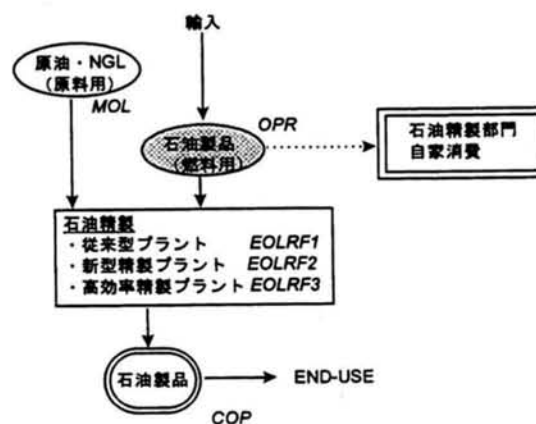
表附録 I -27 都市ガス製造業のエネルギーサービス技術

技術名	産出	投入
都市ガス製造	都市ガス製造 (炉ガス起源)	都市ガス 1 10 <sup>2</sup> Mcal
		炉ガス(原料用) 1 10 <sup>2</sup> Mcal
		炉ガス(製造用) 0.255 10 <sup>2</sup> Mcal
	都市ガス製造 (LPG起源)	都市ガス 1 10 <sup>2</sup> Mcal
		LPG(原料用) 1 10 <sup>2</sup> Mcal
		LPG(製造用) 0.255 10 <sup>2</sup> Mcal
都市ガス製造 (天然ガス起源)	都市ガス	天然ガス(原料用) 1 10 <sup>2</sup> Mcal
		天然ガス(製造用) 0.004 10 <sup>2</sup> Mcal

## 5.2 石油精製業

### 5.2.1 石油精製業のモデル化

石油精製は、最終需要部門の様々な石油製品に対する需要量のバランスに応じるため、精製プラントから製造される製品バランスを変化させたり、輸出入量で石油製品の供給量を調整したりしている。それらをモデル化することは困難であるため、本分析では図附録 I-11に示すように非常に単純なフローで石油精製部門のモデル化を行った。最終需要部門における様々な石油製品の需要量の総和を最終エネルギーサービス量とし、それを満たすようにエネルギーサービスの技術選択が行われる。石油精製業において燃焼用に消費される石油製品の量と石油製品の輸入量とは近年においてほぼ同じレベルで推移している。そのため、将来にわたり石油精製業において燃料用として消費される石油製品は、すべて輸入品によって賄われると想定した（想定に無理があるが、石油精製業において精製された石油製品が、石油製品を作るための燃焼用に使用されるとするとフローが回ってしまい解が発散してしまうケースがあるのでやむを得ない）。



図附録 I-11 石油精製業のエネルギーサービスシステム

## 5.2.2 石油精製業のエネルギーサービス技術

石油精製業における技術選択は、表附録 I -28に示すエネルギーサービス技術を対象とした。

表附録 I -28 石油精製業のエネルギーサービス技術

技術名	産出	投入
石油精製	従来型石油精製プラント	石油製品 1 10 <sup>2</sup> Mcal
		原油 1 10 <sup>2</sup> Mcal
		電力 0.001 10 <sup>2</sup> Mcal
	高効率石油精製プラント	石油製品(燃料用) 0.05 10 <sup>2</sup> Mcal
		原油 1 10 <sup>2</sup> Mcal
		電力 0.001 10 <sup>2</sup> Mcal
	超高効率石油精製プラント	石油製品(燃料用) 0.048 10 <sup>2</sup> Mcal
		原油 1 10 <sup>2</sup> Mcal
		電力 0.001 10 <sup>2</sup> Mcal
		石油製品(燃料用) 0.040 10 <sup>2</sup> Mcal

### 5.3.1 電気事業者のモデル化

## 図附録 I-12 電気事業者のエネルギーサービスシステム

エネルギー政策や立地条件の制約などから電源種の選択は、必ずしもコストのみで選択されているわけではない。そこで、本分析の電源構成に関わる技術選択ロジックを以下のように構築した。

- ①最終需要部門（産業・民生・交通）における電力需要量を算定する。
- ②計算年において退却する発電所の総発電量を控除し、既存発電所における総電力供給量を計算する（耐用年数の想定：火力発電所 35 年、水力発電所 40 年）。
- ③既存発電所の総電力供給量から転換部門の電力自家消費量及び送電ロスを差し引いた量が、最終需要部門における電力需要量を上回っている場合、二酸化炭素排出係数が高い火力発電から順番に発電プラントの稼働率を低下させる。

- 1)石炭    2)石油    3)天然ガス    4)その他

④既存発電所の総電力供給量から転換部門の電力自家消費量及び送電ロスを差し引いた量が、最終需要部門における電力需要量を下回っている場合、二酸化炭素排出係数が低い発電所から順番に新規設置する。

- 1) 原子力・水力・地熱・ごみ発電・太陽光発電
- 2) 天然ガス
- 3) 石油
- 4) 石炭

但し、1)～3)に関しては以下のような制約条件を設けている。

- 1)環境庁技術評価検討会における検討結果の想定値を最大発電量とする。
- 2)～4)電事審による見通しを最大発電量とする。2)～4)の全てが電事審の見通しを上回ってしまった場合には、電事審における火力発電の構成比を将来にわたり維持したまま、2)～4)の発電所を増設していく。



### 5.3.2 電気事業者のエネルギーサービス技術

電気事業者における技術選択は、表附録 I -29に示すエネルギーサービス技術を対象とした。

表附録 I -29 電気事業者のエネルギーサービス技術

	技術名	産出	投入
送電ロス	送電ロス	電力(受電端) 0.949 10 <sup>2</sup> Mcal	電力(送電端) 1 10 <sup>2</sup> Mcal
自家消費	自家消費	電力(送電端) 0.945 10 <sup>2</sup> Mcal	電力(発電端) 1 10 <sup>2</sup> Mcal
原子力発電	原子力発電プラント	電力(発電端) 1 10 <sup>2</sup> Mcal	ウラン 2.616 10 <sup>2</sup> Mcal
水力発電	一般水力発電プラント	電力(発電端) 1 10 <sup>2</sup> Mcal	水力 2.616 10 <sup>2</sup> Mcal
	揚水水力発電プラント	電力(発電端) 1 10 <sup>2</sup> Mcal	揚水用燃料 2.616 10 <sup>2</sup> Mcal
火力発電 (フロー制御)	火力発電(石炭)	火力発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	火力発電(石炭) 1 10 <sup>2</sup> Mcal
	火力発電(石油)	火力発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	火力発電(石油) 1 10 <sup>2</sup> Mcal
	火力発電(天然ガス)	火力発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	火力発電(天然ガス) 1 10 <sup>2</sup> Mcal
石炭火力発電	従来型石炭火力発電	石炭火力発電#1 1 10 <sup>2</sup> Mcal	石炭 2.56 10 <sup>2</sup> Mcal
	リバワリング未設置	石炭火力発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	石炭火力発電#1 1 10 <sup>2</sup> Mcal
	リバワリング(石油)	石炭火力発電 1.35 10 <sup>2</sup> Mcal	石炭火力発電#1 1 10 <sup>2</sup> Mcal 石油製品 0.486 10 <sup>2</sup> Mcal
	リバワリング(天然ガス)	石炭火力発電 1.35 10 <sup>2</sup> Mcal	石炭火力発電#1 1 10 <sup>2</sup> Mcal 天然ガス 0.486 10 <sup>2</sup> Mcal
	高効率石炭火力発電	石炭火力発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	石炭 2.381 10 <sup>2</sup> Mcal
石油火力発電	従来型石油火力発電	石油火力発電#1 1 10 <sup>2</sup> Mcal	石油火力用燃料 2.56 10 <sup>2</sup> Mcal
	リバワリング未設置	石油火力発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	石油火力発電#1 1 10 <sup>2</sup> Mcal
	リバワリング(石油)	石油火力発電 1.35 10 <sup>2</sup> Mcal	石油火力発電#1 1 10 <sup>2</sup> Mcal 石油製品 0.486 10 <sup>2</sup> Mcal
	リバワリング(天然ガス)	石油火力発電 1.35 10 <sup>2</sup> Mcal	石油火力発電#1 1 10 <sup>2</sup> Mcal 天然ガス 0.486 10 <sup>2</sup> Mcal
	高効率石油火力発電	石油火力発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	石油火力用燃料 2.381 10 <sup>2</sup> Mcal
石油火力用燃料	原油	石油火力用燃料 1 10 <sup>2</sup> Mcal	原油 1 10 <sup>2</sup> Mcal
	石油製品	石油火力用燃料 1 10 <sup>2</sup> Mcal	石油製品 1 10 <sup>2</sup> Mcal
	炉ガス	石油火力用燃料 1 10 <sup>2</sup> Mcal	炉ガス 1 10 <sup>2</sup> Mcal
天然ガス 火力発電	従来型天然ガス火力発電	天然ガス火力発電# 1 10 <sup>2</sup> Mcal	天然ガス 2.56 10 <sup>2</sup> Mcal
	リバワリング未設置	天然ガス火力発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	天然ガス火力発電# 1 10 <sup>2</sup> Mcal
	リバワリング(天然ガス)	天然ガス火力発電 1.35 10 <sup>2</sup> Mcal	天然ガス火力発電# 1 10 <sup>2</sup> Mcal 天然ガス 0.486 10 <sup>2</sup> Mcal
	高効率天然ガス火力発電	天然ガス火力発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	天然ガス 2.381 10 <sup>2</sup> Mcal
地熱発電	地熱発電	地熱発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	地熱 2.616 10 <sup>2</sup> Mcal
新エネルギー 発電	太陽光発電	太陽光発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	太陽光 2.616 10 <sup>2</sup> Mcal
	風力発電	風力発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	風力 2.616 10 <sup>2</sup> Mcal
	廃棄物発電	廃棄物発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	廃棄物 2.616 10 <sup>2</sup> Mcal
	廃棄物発電(ハイブリッド)	廃棄物発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	廃棄物 2.616 10 <sup>2</sup> Mcal 天然ガス 2.267 10 <sup>2</sup> Mcal
	バイオマス発電	バイオマス発電 1 10 <sup>2</sup> Mcal	バイオマス 2.616 10 <sup>2</sup> Mcal

## 附錄 II

## 附録Ⅱ ALICE 推計における対策レベルの設定

1. 対策レベル設定の考え方	Ⅱ-1
2. 愛知県での部門別の設定の詳細	Ⅱ-2
2.1 産業部門	Ⅱ-4
2.2 家庭部門	Ⅱ-6
2.3 業務部門	Ⅱ-10
2.4 交通部門	Ⅱ-12

# 1. 対策レベル設定の考え方

対策レベルの設定にあたっては、対策を内容及び難易度によって区分し、さらに 2010 年の取組状況を以下の 3 レベルに分けて設定し、推計した。

表附録Ⅱ-1 レベル設定の考え方

	考え方	推計手法
レベル1	各主体が通常の対策努力を進めることによって達成できるレベル	温暖化対策に関するアンケート調査の結果をもとに、「いつも実施している」という回答率を参考に、2010(平成 22)年の時点で同程度の取組がなされた場合を設定
レベル2	各主体が積極的な対策努力を進めることによって達成できるレベル	アンケートにおいて「時々実施している」あるいは「今後は実施したい」といった取組意志が見られる世帯や事業者が 2010(平成 22)年に全て対策を実施した場合を設定
レベル3	各主体が最大限の対策努力を進めることによって達成できる状態	各主体がレベル 2 よりも一歩進んだ(10%程度対策を進めた)場合を設定

## 2. 愛知県での部門別の設定の詳細

削減可能量については、2010年に県内のエネルギー転換、産業、民生業務、民生家庭、交通の各部門において地球温暖化対策が現在どの程度実施されているのか、施策等によってどこまで実施率を高めることができるのかを勘案しながら推計を行った。

推計方法は部門毎に異なり、エネルギー転換と産業については経団連が掲げている業界団体の「環境保全のための自主行動計画」及び主要工場に対して適応される「改正省エネルギー法」の遵守による削減効果を推計した。また、民生家庭、民生業務、交通については、アンケートなどをもとに多様な対策がもたらす効果について複合的に推計した。

表附録Ⅱ-2 削減量の推計方法に関する基本的な考え方

部門	削減量推計の考え方	実施率・達成率設定の考え方
産業	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「環境保全のための自主行動計画」を作成済みの業種については、示された目標を達成するものとしてその効果を推計</li> <li>・作成していない業種については、改正省エネルギー法に示された1998年以降、前年比1%削減を達成するものとしてその効果を推計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自主行動計画及び改正省エネ法の対象に該当する県内企業は100%ではないことから、達成率についてレベルを想定 レベル1 40% レベル2 70% レベル3 100%</li> </ul>
民生家庭	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アンケート結果の実施率や省エネ型家電製品の導入意向、さらには現状の機器の普及率などを基礎として、2010年におけるエネルギー消費構造を想定し、省エネルギー行動による削減効果を推計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・省エネルギー行動別に実施率についてレベルを想定</li> <li>・レベルの設定については、アンケート結果を反映</li> </ul>
民生業務	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アンケート結果の実施率や省エネ機器などの導入意向、さらには現状の機器の普及率などを基礎として、2010年におけるエネルギー消費構造を想定し、省エネルギー行動による削減効果を推計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・省エネルギー行動別に実施率についてレベルを想定</li> <li>・レベルの設定については、アンケート結果を反映</li> </ul>
交通(自動車)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アンケート結果の実施率や低燃費車などの導入意向、さらには現状の車両の普及率などを基礎として、2010年におけるエネルギー消費構造を想定し、省エネルギー行動による削減効果を推計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対策別に実施率についてレベルを想定</li> <li>・レベルの設定については、アンケート結果を反映</li> </ul>

表附録Ⅱ-3 削減シナリオにおける主な地球温暖化対策の想定実施率

		レベル1	レベル2	レベル3
産業	製造業、建設業における自主行動計画の策定・遵守	40%	70%	100%
	改正省エネルギー法の遵守	40%	70%	100%
民生家庭	日常生活における省エネルギー行動の実施	表附録Ⅱ-7 参照(民生家庭)※1		
	家庭におけるトップランナー方式の機器の導入			
	家庭における省エネルギー機器の導入			
	住宅の省エネルギー化の推進			
	新エネルギーの導入	30%	40%	50%
民生業務	事業所における省エネルギー行動の実践	表附録Ⅱ-10 参照(民生業務)※2		
	事業所におけるトップランナー方式機器の導入			
	事業所における省エネルギー型のOA機器の導入			
	ビルの省エネルギー化の推進			
	新エネルギーの導入	30%	40%	50%
交通	省エネルギー運転の実施	表附録Ⅱ-13 参照(交通)※3		
	トップランナー方式の車両の導入			
	省エネルギー型車両の導入			
	鉄道、航空、船舶における自主行動計画の推進	40%	70%	100%
	公共交通機関の利用促進	表附録Ⅱ-13 参照(交通)※3		
	物流の効率化の推進			
	クリーンエネルギー自動車の導入	30%	40%	50%

※印は、アンケート結果を基に対策項目別に実施率を設定している。

## 2.1 産業部門

県内における二酸化炭素総排出量において産業部門は 1997 年の段階で 52.3%を占めており、さらに、製造業のうち鉄鋼業が 42.3%，化学工業が 12.7%を占めるなど、県のエネルギー消費構造の特性を表している。

製造業における温暖化対策は、業種や規模、製造工程の違い、対策の実施状況等によって事業所毎に大きく異なるが、現在、経団連の主要な業界においては環境自主行動計画を作成し、業界単位での自主的な取組を基調に対策が推進されている。このような実状に配慮し、削減効果の推計にあたっては、まず、各業界団体が、自らの事業特性に合わせて環境自主行動計画の中に掲げている削減対策を県内の事業所で推進した場合の削減量を推計するものとした。

また、1999 年に施行される改正省エネ法においては、一定規模の事業所に対するエネルギー使用の合理化が求められている。自主行動計画が設定されていない業種については、この法律に従って対策が講じられるものと仮定して、前年比1%のエネルギー合理化を一定割合で果たした場合の二酸化炭素削減効果を推計した。なお、改正省エネルギー法の対象事業所の割合が不明なため、全事業所を対象として推計している。

表附録Ⅱ-4 製造業における業種別削減方針の設定

	根拠	基準年	削減対象	削減率
食料品	改正省エネ法	1998	エネルギー消費原単位	10.5%
飲料・飼料・たばこ	改正省エネ法	1998	エネルギー消費原単位	10.5%
繊維工業	改正省エネ法	1998	エネルギー消費原単位	10.5%
衣服・その他の繊維	改正省エネ法	1998	エネルギー消費原単位	10.5%
木材・木製品	改正省エネ法	1998	エネルギー消費原単位	10.5%
家具・装飾品	改正省エネ法	1998	エネルギー消費原単位	10.5%
パルプ・紙・印刷	自主行動計画	1990	エネルギー消費原単位	10.0%
出版・印刷・同関連	改正省エネ法	1998	エネルギー消費原単位	10.5%
化学工業	自主行動計画	1990	エネルギー消費原単位	10.0%
石油製品・石炭製品	改正省エネ法	1998	エネルギー消費原単位	10.5%
プラスチック製品	改正省エネ法	1998	エネルギー消費原単位	10.5%
ゴム製品	改正省エネ法	1998	エネルギー消費原単位	10.5%
なめし革・同製品	改正省エネ法	1998	エネルギー消費原単位	10.5%
窯業・土石製品	改正省エネ法	1998	エネルギー消費原単位	10.5%
鉄鋼業	自主行動計画	1990	エネルギー消費量	9.5%
非鉄金属	改正省エネ法	1998	エネルギー消費原単位	10.5%
金属製品	改正省エネ法	1998	エネルギー消費原単位	10.5%
一般機械器具	改正省エネ法	1998	エネルギー消費原単位	10.5%
電気機械器具	自主行動計画	1990	CO2排出原単位	25.0%
輸送用機械器具	自主行動計画	1990	CO2排出量	10.0%
精密機械器具	改正省エネ法	1998	エネルギー消費原単位	10.5%
武器製品	改正省エネ法	1998	エネルギー消費原単位	10.5%
その他の製造業	改正省エネ法	1998	エネルギー消費原単位	10.5%

表附録Ⅱ-5 業種別実質製造品出荷額当たりのエネルギー消費量の推移

単位: Gcal/百万円

	1990	1997	2000	2005	2010
食料品	2.6	3.5	3.3	3.3	3.3
飲料・飼料・たばこ	1.6	1.4	1.3	1.3	1.3
繊維工業	5.8	7.2	6.8	6.8	6.9
衣服・その他の繊維	0.5	0.7	0.6	0.6	0.6
木材・木製品	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8
家具・装飾品	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
パルプ紙紙加工	7.0	8.4	9.4	11.4	13.9
出版・印刷・同関連	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6
化学工業	10.3	10.7	8.9	9.6	10.2
石油製品・石炭製品	10.9	17.5	15.0	16.2	17.5
プラスチック製品	1.9	2.5	2.1	2.1	2.1
ゴム製品	2.3	2.3	1.9	1.9	1.9
なめし革・同製品	0.1	0.3	0.2	0.2	0.2
窯業・土石製品	8.5	9.5	7.8	8.0	8.1
鉄鋼業					
非鉄金属	4.1	6.2	5.1	5.2	5.2
金属製品	1.4	1.6	1.6	1.6	1.5
一般機械器具	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
電気機械器具					
輸送用機械器具					
精密機械器具	0.7	1.2	1.2	1.2	1.2
武器製品	-	-	-	-	-
その他の製造業	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
合計	3.2	3.4	3.4	3.4	3.4

表附録Ⅱ-6 業種別実質製造品出荷額の推移

単位: 百万円

	1997	2000	2005	2010
食料品	1,521,941	1,440,093	1,313,345	1,197,752
飲料・飼料・たばこ	615,601	582,495	531,227	484,472
繊維工業	652,423	617,336	563,002	513,450
衣服・その他の繊維	262,479	248,363	226,504	206,568
木材・木製品	291,207	275,547	251,295	229,177
家具・装飾品	337,102	318,973	290,899	265,296
パルプ紙紙加工	452,787	428,437	390,728	356,339
出版・印刷・同関連	747,792	707,577	645,300	588,504
化学工業	978,298	1,163,088	1,109,540	1,058,459
石油製品・石炭製品	478,160	568,479	542,307	517,340
プラスチック製品	1,368,755	1,627,297	1,552,378	1,480,909
ゴム製品	420,285	499,672	476,668	454,723
なめし革・同製品	29,738	35,355	33,728	32,175
窯業・土石製品	1,057,077	1,256,747	1,198,888	1,143,693
鉄鋼業	1,868,941	2,221,963	2,119,666	2,022,080
非鉄金属	397,535	472,624	450,865	430,108
金属製品	1,471,462	1,400,523	1,431,866	1,463,909
一般機械器具	3,825,967	3,641,519	3,723,013	3,806,330
電気機械器具	3,020,786	2,875,156	2,939,499	3,005,282
輸送用機械器具	15,321,495	14,582,855	14,909,205	15,242,858
精密機械器具	286,792	272,966	279,074	285,320
武器製品	x	-	-	-
その他の製造業	289,114	275,176	281,334	287,630
合計	35,695,733	35,512,241	35,260,332	35,072,373



## 2.2 家庭部門

家庭における地球温暖化対策の実施率の設定にあたっては、レベル1は「各主体が通常の対策努力を進めることによって達成できる状態」を想定して、温暖化対策に関するアンケート調査の結果をもとに、「いつも実施している」という回答率を参考に、2010(平成 22)年の時点で同程度の取組がなされた場合を設定して、対策効果を求めている。

また、レベル2では、「各主体が積極的な対策努力を進めることによって達成できる状態」を想定し、アンケートにおいて「時々実施している」あるいは「今後は実施したい」といった取組意志が見られる世帯や事業者が 2010(平成 22)年に全て対策を実施した場合を設定した。

さらにレベル3は、「各主体が最大限の対策努力を進めることによって達成できる状態」を想定し、各主体の取組がレベル2よりも一歩進んだ(10%程度対策を進めた)場合を設定して、削減効果を算出した。

既実施率は、現時点で省エネ行動などに取り組んでいる抑制効果もを考慮して推計すべきあるという考えを踏まえて、アンケート調査において「いつも実施している」と回答した世帯の約 50%において具体的な効果が現れていると仮定して設定した。

表附録Ⅱ-7 民生家庭部門における地球温暖化対策の実施期待率 ※1

	メニュー	レベル1	レベル2	レベル3	既実施率
日常生活における省エネルギー行動の実施	エアコン(暖房)の設定温度を1℃低下	48%	88%	97%	24%
	エアコン(冷房)設定温度を1℃上昇	41%	81%	89%	21%
	エアコン(暖房)の使用時間を1時間短縮	40%	60%	66%	-
	エアコン(冷房)の使用時間を1時間短縮	40%	60%	66%	-
	石油ストーブの使用時間を1時間短縮	40%	60%	66%	-
	ガスストーブの使用時間を1時間短縮	40%	60%	66%	-
	電気カーペットの使用時間を1時間短縮	40%	60%	66%	-
	照明のつけっぱなしをやめる	80%	98%	100%	40%
	テレビの視聴時間を1時間短縮	40%	60%	66%	-
	見ないテレビの主電源をOFF	35%	83%	91%	18%
	冷蔵庫への詰め込み過ぎをやる	34%	94%	100%	17%
	冷蔵庫の開閉数を少なくする	45%	94%	100%	23%
	洗濯物のまとめ洗い	65%	91%	100%	33%
	天気の良いときは乾燥機を使わない	30%	60%	66%	15%
	掃除機のフィルターをこまめに掃除	35%	94%	100%	18%
	エアコンのフィルターをこまめに掃除	35%	94%	100%	18%
	電気こたつの使用時間を1時間短縮	40%	60%	66%	-
	お風呂がさめないうちに連続して入る	30%	40%	50%	15%
	シャワーの出っぱなしをやめる(1日3分間)	52%	94%	100%	26%
	洗濯後のドライヤー使用時間3分短縮	30%	40%	50%	15%
	食器洗いの時のお湯の温度を低下(ガス瞬間湯沸かし器)	42%	72%	79%	21%
	使用しない時は給湯器の種火を切る	30%	40%	50%	15%
	就寝時に温水洗浄便座のスイッチを切る	52%	78%	86%	26%
	自動炊飯器によるご飯の保温時間の削減	40%	60%	66%	-
	カーテンやブラインドを上手に利用し冷暖房効果を高める	49%	90%	99%	25%
家庭における省エネルギー機器の導入	テレビのディスプレイの液晶化	30%	40%	44%	-
	白熱灯のコンパクト蛍光灯化	30%	40%	44%	-
	センサー付き照明の導入	30%	40%	44%	-
住宅の省エネルギー化の推進	太陽熱温水器の導入	12%	22%	24%	6%
	ペアガラスによる住宅の開口部保温構造化(既存住宅)	7%	23%	25%	4%
	新築住宅に対する保温構造の強化(工事の促進)	33%	45%	50%	17%
	総合的な省エネ型住宅の建築	3%	4%	5%	-
家庭におけるトップランナー方式の機器の導入	省エネ型エアコンの導入*	80%	90%	100%	-
	省エネ型テレビ(受信機)の導入*	80%	90%	100%	-
	省エネ型VTRの導入*	80%	90%	100%	-
	省エネ型コンピュータの導入*	80%	90%	100%	-
	省エネ型冷蔵庫の導入**	80%	90%	100%	-
	省エネ型蛍光灯の導入	80%	90%	100%	-

表附録Ⅱ-8 家庭関連機器の普及状況の想定値

	1997年度普及率	2010年想定普及率
エアコン(冷房)	219.6%	255.4%
エアコン(暖房)	149.2%	173.5%
石油ストーブ	100.3%	100.3%
都市ガスストーブ	42.4%	43.4%
LPGストーブ	0.8%	0.8%
電気給湯器	10.8%	10.8%
灯油給湯器	11.6%	11.6%
都市ガス給湯器	55.2%	55.2%
LPG給湯器	24.5%	24.5%
石炭給湯器	0.0%	0.0%
太陽熱温水器	13.6%	13.6%
電気厨房	4.2%	4.6%
灯油厨房	0.0%	0.0%
都市ガス厨房	67.0%	66.8%
LPG厨房	27.8%	27.6%
石炭厨房	0.0%	0.0%
蛍光灯	1049.0%	1049.0%
蛍光灯+センサー付き照明	0.0%	0.0%
白熱灯	524.5%	524.5%
白熱灯型蛍光灯	52.5%	52.5%
冷蔵庫	116.7%	116.7%
ブラウン管テレビ(視聴時)	231.5%	231.5%
ブラウン管テレビ(待機時)	231.5%	231.5%
液晶テレビ(視聴時)	0.0%	0.0%
液晶テレビ(待機時)	0.0%	0.0%
VTR(視聴時)	122.6%	122.6%
VTR(待機時)	122.6%	122.6%
パソコン(デスクトップ・動作時)	15.7%	19.0%
パソコン(デスクトップ・待機時)	15.7%	19.0%
パソコン(ノート・動作時)	15.7%	19.0%
パソコン(ノート・待機時)	15.7%	19.0%
洗濯機	108.4%	113.2%
電気乾燥機	20.5%	21.3%
ガス乾燥機	1.2%	1.2%
ドライヤー	90.0%	90.0%
便座暖房(便座保温)	42.1%	48.8%
便座暖房(温水加熱等)	42.1%	48.8%
掃除機	135.7%	135.7%
電子レンジ	99.7%	101.5%
自動炊飯器(炊飯時)	13.8%	13.8%
自動炊飯器(保温時)	13.8%	13.8%
FAX	23.9%	23.9%
こたつ	78.6%	78.6%
電気カーペット	99.4%	107.9%
その他	33.6%	67.2%

表附録Ⅱ-9 関連機器の想定使用状況

	台数	能力	効率	使用時間 (時間/日)	使用日数 (日)	強度設定 (90-100)	メンテナンス (90-100)	エネルギー消費量 (Mcal)
エアコン(冷房)	1 台	2500 kW	4.71	6	60	85	89	電気 124
エアコン(暖房)	1 台	3600 kW	5.26	6	90	62	89	電気 176
石油ストーブ	1 台	2 Mcal/h	0.80	6	90	66	100	灯油 956
都市ガスストーブ	1 台	2 Mcal/h	0.80	6	90	66	100	都市ガス 956
LPGストーブ	1 台	2 Mcal/h	0.80	6	90	66	100	LPG 956
電気給湯器	1 台	24 Mcal/h	0.90	0.26	365	97	100	電気 2476
灯油給湯器	1 台	24 Mcal/h	0.65	0.26	365	97	100	灯油 3428
都市ガス給湯器	1 台	24 Mcal/h	0.76	0.26	365	97	100	都市ガス 2938
LPG給湯器	1 台	24 Mcal/h	0.75	0.26	365	97	100	LPG 2971
石炭給湯器	1 台	24 Mcal/h	0.75	0.26	365	97	100	石炭等 2971
太陽熱温水器	1 台	24 Mcal/h	0.75	0.26	183	98	100	太陽熱 1510
電気厨房	1	2 Mcal/h	1.84	1.5	365	100	100	灯油 531
灯油厨房	1	2 Mcal/h	1.00	1.5	365	100	100	灯油 977
都市ガス厨房	1	2 Mcal/h	1.00	1.5	365	100	100	都市ガス 977
LPG厨房	1	2 Mcal/h	1.00	1.5	365	100	100	LPG 977
石炭厨房	1	2 Mcal/h	1.00	1.5	365	100	100	石炭等 977
蛍光灯	1 本	40 W	1.20	5	365	100	100	電気 57
蛍光灯+センサー付き照明	1 本	40 W	1.00	1	365	100	100	電気 13
白熱灯	1 個	100 W	1.00	2	365	100	100	電気 75
白熱灯型蛍光灯	1 個	100 W相当	4.00	2	365	100	100	電気 19
冷蔵庫	1 台	60 W	1.42	24	365	100	90	電気 285
ブラウン管テレビ(視聴時)	1 台	97 W	1.21	2	365	100	100	電気 50
ブラウン管テレビ(待機時)	1 台	3 W	1.00	22	365	100	94	電気 17
液晶テレビ(視聴時)	1 台	41 W	1.00	2	365	100	100	電気 26
液晶テレビ(待機時)	1 台	1 W	1.00	22	365	100	100	電気 7
VTR(視聴時)	1 台	20 W	1.00	1	365	100	100	電気 6
VTR(待機時)	1 台	5 W	2.58	23	365	100	100	電気 14
パソコン(デスクトップ・動作時)	1 台	134 W	2.27	1.43	300	100	100	電気 22
パソコン(デスクトップ・待機時)		64 W	2.27	0.71	300	100	100	電気 5
パソコン(ノート・動作時)	1 台	15 W	1.00	1.43	300	100	100	電気 6
パソコン(ノート・待機時)		8 W	1.00	0.71	300	100	100	電気 1
洗濯機	1 台	500 W	1.00	0.5	300	100	89	電気 57
電気乾燥機	1 台	1400 W	1.00	1	215	100	100	電気 259
ガス乾燥機	1 台	4000 W	1.00	1	215	100	100	都市ガス 740
ドライヤー	1 台	1000 W	1.00	0.5	365	100	100	電気 144
便座暖房(便座保温)	1 台	50 W	1.00	18	150	100	100	電気 117
便座暖房(温水加熱等)	1 台	500 W	1.00	1	365	100	100	電気 157
掃除機	1 台	600 W	1.00	0.3	365	100	92	電気 52
電子レンジ	1 台	1000 W	1.00	0.3	300	100	100	電気 77
自動炊飯器(炊飯時)	1 台	1100 W	1.00	1.0	365	50	100	電気 173
自動炊飯器(保温時)	1 台	24 W	1.00	5	365	100	100	電気 38
こたつ	1 台	500 W	1.00	2	40	70	100	電気 24
電気カーペット	1 台	700 W	1.00	2	40	50	100	電気 24
その他	1 台	300 W	1.00	3	365	100	100	電気 283

## 2.3 業務部門

家庭と同様の考え方に基づいて、アンケート結果を用いて将来の実施率を設定し、各取組による効果について推計した。既実施率の考え方は家庭と同様に設定している。

表附録Ⅱ-10 民生業務部門における地球温暖化対策の実施期待率 ※2

区分	メニュー	レベル1	レベル2	レベル3	既実施率
事業所における省エネルギー行動の実践	暖房の設定温度の適正化	85%	92%	100%	42%
	冷房の設定温度の適正化	84%	91%	100%	42%
	暖房の使用時間を1時間短縮	60%	70%	80%	—
	冷房の使用時間を1時間短縮	60%	70%	80%	—
	カーテンやブラインドを上手に利用し冷暖房効果を高める	60%	70%	80%	35%
	昼休みの消灯	80%	92%	100%	40%
	昼休みのパソコンOFF	50%	70%	80%	25%
事業所における省エネルギー型のOA機器の導入	センサー付照明の導入	10%	20%	30%	5%
	Hfインバータ照明の導入	25%	59%	65%	13%
	パソコンモニターの液晶化	10%	41%	45%	5%
	非常口誘導灯を高輝度誘導灯に転換	20%	30%	40%	10%
ビルの省エネルギー化の推進	建築物の省エネルギービル化の推進	10%	15%	20%	5%
事業所におけるトップランナー方式機器の導入	省エネ型コンピュータの導入	80%	90%	100%	—
	照明のインバータ化	80%	90%	100%	—
	省エネ型コピー機の導入	80%	90%	100%	—

表附録Ⅱ-11 業務関連機器の普及状況の想定値

機器	1997	2010
冷房機器(電気)	100%	100%
冷房機器(ガス)	100%	100%
冷房機器(重油)	100%	100%
暖房機器(電気)	100%	100%
暖房機器(ガス)	100%	100%
暖房機器(重油)	100%	100%
暖房機器(灯油)	100%	100%
給湯・厨房機器(電気)	100%	100%
給湯・厨房機器(ガス)	100%	100%
給湯・厨房機器(LPG)	100%	100%
給湯・厨房機器(重油)	100%	100%
照明機器	97%	97%
Hfインバータ照明機器	3%	3%
照明機器(センサー付き)	0%	0%
Hfインバータ照明機器(センサー付き)	0%	0%
非常口誘導灯	90%	90%
高輝度非常口誘導灯	10%	10%
パソコン(デスクトップ・動作時)	50%	75%
パソコン(デスクトップ・待機時)	50%	75%
パソコン(ノート・動作時)	10%	25%
パソコン(ノート・待機時)	10%	25%
複写機	100%	100%
その他	100%	100%

表附録Ⅱ-12 業務関連機器の想定使用状況

	台数	能力	効率	使用時間 (時間/日)	使用日数 (日)	強度設定 (90-100)	メンテナンス (90-100)	エネルギー消費量 (Mcal)
冷房機器(電気)	1 m <sup>2</sup>		1.00	10	250	100	100 電気	12.9
冷房機器(ガス)	1 m <sup>2</sup>		1.00	10	250	100	100 都市ガス	4.6
冷房機器(重油)	1 m <sup>2</sup>		1.00	10	250	100	100 重油	2.0
暖房機器(電気)	1 m <sup>2</sup>		1.00	10	250	100	100 電気	4.2
暖房機器(ガス)	1 m <sup>2</sup>		1.00	10	250	100	100 都市ガス	4.6
暖房機器(重油)	1 m <sup>2</sup>		1.00	10	250	100	100 重油	20.1
暖房機器(灯油)	1 m <sup>2</sup>		1.00	10	250	100	100 灯油	9.5
給湯・厨房機器(電気)	1 m <sup>2</sup>		1.00	10	250	100	100 電気	0.0
給湯・厨房機器(ガス)	1 m <sup>2</sup>		1.00	10	250	100	100 都市ガス	36.7
給湯・厨房機器(LPG)	1 m <sup>2</sup>		1.00	10	250	100	100 LPG	1.6
給湯・厨房機器(重油)	1 m <sup>2</sup>		1.00	10	250	100	100 重油	20.1
照明機器	1 m <sup>2</sup>	32 W	1.00	10	250	100	100 電気	69
Hfインバータ照明機器	1 m <sup>2</sup>	32 W	1.30	10	250	100	100 電気	52.92
照明機器(センサー付き)	1 m <sup>2</sup>	32 W	1.00	5	250	100	100 電気	34
Hfインバータ照明機器(センサー付き)	1 m <sup>2</sup>	32 W	1.30	5	250	100	100 電気	26
非常口誘導灯	100 m <sup>2</sup>	25 W	1.00	24	365	100	100 電気	188
高輝度非常口誘導灯	100 m <sup>2</sup>	25 W相当	3.20	24	365	100	100 電気	59
パソコン(デスクトップ・動作時)	1 台	134 W	1.00	6.00	250	100	100 電気	173
パソコン(デスクトップ・待機時)	1 台	64 W	1.00	3.00	250	100	100 電気	41
パソコン(ノート・動作時)	1 台	15 W	1.00	6.00	250	100	100 電気	19
パソコン(ノート・待機時)	1 台	8 W	1.00	3.00	250	100	100 電気	5
複写機	1 m <sup>2</sup>		1.00	10	250	100	100 電気	1.7
その他	1 m <sup>2</sup>	5 W	1.00	24	365	100	100 電気	38

## 2.4 交通部門

家庭、業務と同様の考え方に基づいて、アンケート結果を用いて将来の実施率を設定し、各取組による削減効果を推計した。レベル及び既実施率の考え方は家庭、業務と同様とする。

表附録Ⅱ-13 交通部門における地球温暖化対策の実施期待率 ※3

区分	メニュー	レベル1	レベル2	レベル3	既実施率
省エネルギー運転の実施	車の急発進を1日10回やめる	73%	87%	96%	37%
	車の急加減を1日10回やめる	73%	87%	96%	37%
	不要な荷物(10kg)を積んだまま走行しない	53%	78%	86%	27%
	空ぶかしを1日10回やめる	67%	86%	94%	33%
	乗用車のアイドリングストップを1日5分間実行	67%	86%	94%	33%
	貨物車のアイドリングストップを1日20分間実行	67%	86%	94%	33%
	乗合車のアイドリングストップを1日20分間実行	67%	86%	94%	33%
	適正な空気圧で走行	80%	90%	100%	40%
省エネルギー型車両の導入	低燃費車(ハイブリッド車)の導入	10%	15%	20%	3%
	小型車への回帰	10%	15%	30%	—
	小型車への回帰	10%	15%	30%	—
	乗合バスのハイブリッド化	10%	15%	20%	—
公共交通機関の利用促進	公共交通機関等を使用し、1週間に1回マイカー利用を控える	15%	20%	30%	3%
	公共交通機関等を使用し、1週間に1回マイカー利用を控える	15%	20%	30%	3%
物流の効率化の推進	モーダルシフトの推進(トラック輸送の鉄道へのシフト)	3%	4%	5%	—
トッパンナー方式の車両の導入	ガソリン乗用車の燃費改善	60%	70%	80%	—
	ディーゼル乗用車の燃費改善	80%	90%	100%	—
	ガソリン貨物車の燃費改善	80%	90%	100%	—
	ディーゼル貨物車の燃費改善	80%	90%	100%	—

表附録Ⅱ-14 自動車関連機器の想定使用状況

	台数	能力	使用時間 (時間/日)	使用日数 (日)	強度設定 (90-100)	乗り方	エネルギー消費量 (Mcal)
ガソリン乗用車	1台	1.12	2	189.4	91.0	87.4 ガソリン	4,069
軽油乗用車	1台	1.08	3	189.4	91.0	93.8 軽油	9,131
LPG乗用車	1台	1.00	8	200.0	100.0	88.6 LPG	5,933
ハイブリッド乗用車	1台	1.00	3	200.0	100.0	99.4 ガソリン	4,019
ガソリン貨物車	1台	1.14	8	282.6	100.0	93.9 ガソリン	9,673
軽油貨物車	1台	1.06	8	282.6	100.0	97.0 軽油	21,511
LPG貨物車	1台	1.00	8	282.6	100.0	88.9 LPG	5,743
ガソリン乗合車	1台	1.00	8	293.0	100.0	93.9 ガソリン	11,389
軽油乗合車	1台	1.00	8	293.0	100.0	97.0 軽油	23,755
LPG乗合車	1台	1.00	8	293.0	100.0	88.9 LPG	5,955
ハイブリッド乗合車	1台	1.00	8	293.0	100.0	99.9 軽油	16,317
ガソリン特殊車	1台	1.00	8	293.0	100.0	93.1 ガソリン	8,687
軽油特殊車	1台	1.00	8	293.0	100.0	96.6 軽油	18,199
LPG特殊車	1台	1.00	8	293.0	100.0	87.5 LPG	4,507

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、京都大学大学院工学研究科教授 松岡譲先生には、終始懇切丁寧なご指導とご助言を賜りました。平成 10 年 10 月に社会人として博士後期課程に編入して以来、1 年半の休学期間をはさんで今日に至るまで、世界の動向を踏まえた大所高所からの研究の方向付けと膨大なデータに裏打ちされた綿密な研究の展開という両面からお導きいただきました。ここに、深く感謝申し上げます。

京都大学大学院工学研究科教授 津野洋先生、同教授 内藤正明先生には、本論文の査読を通じて貴重なご助言を賜りました。心より感謝いたします。

本研究の取りまとめにあたっては、京都大学大学院工学研究科環境工学専攻大気熱環境工学分野の藤原健史助教授、山敷庸亮助手のほか多くの皆様からご支援をいただきました。データの収集・解析において、当時京都大学および大学院の学生であった藤岡荘史君（現 コンパックコンピュータ）、溝口 真吾君（現 兵庫県庁）に多大なご協力をいただきました。当時助手であった島田洋子博士（現 神戸市）、研究室秘書の井口由さんにもいろいろな面でご支援をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

本研究を遂行するにあたり、国立環境研究所森田恒幸領域長および甲斐沼美紀子室長、富士総合研究所の日比野剛氏をはじめ多くの皆様にお世話になりました。また、データ提供等の面で、愛知県環境部大気環境課の稲垣隆司課長、平岩知伸課長補佐（現（財）愛知水と緑の公社）や公害健康被害補償予防協会の皆様にもご協力いただきました。ここに感謝申し上げます。